

**Кулунда: сельское хозяйство
и низкоэмиссионные технологии
устойчивого землепользования**

Монография



Барнаул

Издательство
Алтайского государственного
университета
2021

УДК 911.2(571.150): 332.3
ББК 26.829(2Рос-4Алт) + 65.281
К 905

Научные редакторы

В.И. Беляев, доктор технических наук, профессор;
М.М. Силантьева, доктор биологических наук, профессор;
А.М. Никулин, кандидат экономических наук;
А.А. Бондарович, кандидат географических наук

К 905 Кулунда: сельское хозяйство и низкоэмиссионные технологии устойчивого землепользования : коллективная монография / под науч. ред. В.И. Беляева, М.М. Силантьевой, А.М. Никулина, А.А. Бондаровича. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2021. – 619 с.

ISBN 978-5-7904-2593-6.

Цель монографии – рассмотреть эволюцию ландшафта Кулундинской степи под воздействием человека, а также предложить технологические решения в области земледелия, которые позволят предотвратить эмиссию парниковых газов и одновременно адаптировать растениеводство к климатическим изменениям. В монографии затронуты не только вопросы физико-географических особенностей Кулундинской степи и истории ее освоения, но также проведен глубокий анализ социально-экономических факторов землепользования. Изучены особенности внедрения на примере модельных фермерских хозяйств низкоэмиссионных технологий земледелия. Интересен опыт по разработке и внедрению платформы, позволяющей заинтересованным сторонам осуществлять поддержку методов землепользования и управления почвами, адаптированных к местным условиям и климату.

Монография рассчитана на географов, климатологов, ботаников, почвоведов, социологов, агрономов, экономистов, политологов, фермеров, а также государственных служащих, курирующих вопросы реализации экологической и аграрной политики в России и Казахстане. Издание будет полезно студентам, а также тем, кто интересуется вопросами устойчивого и ресурсосберегающего землепользования на фоне глобальных изменений климата.

УДК 911.2(571.150):332.3
ББК 26.829(2Рос-4Алт) + 65.281

Издание опубликовано в рамках Программы развития Алтайского государственного университета на 2021–2030 гг. при поддержке Приоритет 2030. Стратегический проект «Инновационные технологические решения и продукты для устойчивого развития сельского хозяйства – АгроБиоТех» и германо-российского проекта «КУЛУНДА - Как предотвратить глобальный синдром «dust bowl» – «пыльных бурь»?» при финансировании Федерального министерства образования и научных исследований Германии (BMBWF; FKZ 01LL0905D).

ISBN978-5-7904-2593-6

© Оформление. Издательство Алтайского государственного университета, 2021

Глава 12. Почвенная влага и эвапотранспирация

А.А. Бондарович, В.В. Щербинин, Е.В. Понькина, А.В. Мацюра, А.В. Пузанов, Э. Штефан, Д. Балыкин, Х. Рупп, Р. Майсснер

Аннотация. Оценка различных практик управления земельными ресурсами в соответствии с их воздействием на баланс почвенной влаги и растворенных веществ имеет большое значение для потенциала урожайности и устойчивое развитие Алтайского края (Россия). Представлен анализ результатов, полученных от автоматических метеорологических, почвенно-гидрологических станций и уникальной гравитационной лизиметрической станции, установленных в рамках германо-российского проекта «Кулунда» (2012–2016 гг.), который был поддержан Министерством науки и образования Германии (BMBF) (официальный сайт проекта: <http://www.kulunda.eu>). Выявлено, что технология без обработки почвы (англ. No-Tillage) постепенно формирует физические почвенные условия, близкие к естественному фону (степь). Впервые на основе сложных лизиметрических измерений для Кулундинской степи представлены количественные расчеты актуальной эвапотранспирации (Eta).

Ключевые слова: эвапотранспирация, гравитационный лизиметр, почвенно-гидрологическая станция, осадки, влажность почвы, температура почвы, метеорологическая станция.

Введение

Сложность экономической деятельности на Кулундинской равнине обусловлена, главным образом, специфическими климатическими и почвенными условиями (Мосиенко, 1972; Фрюауф, 2014; Беляев, 2015; Беляев и др., 2016). Для континентального климата Кулундинской степи характерны длинные, холодные и малоснежные зимы, и короткое, но жаркое и сухое лето (подробнее приведены в таблицах 12.2, 12.3). Годовое количество осадков составляет около 250–450 мм, с апреля по октябрь – около 200 мм.

За последние несколько лет количество осадков за вегетационный период в засушливые годы уменьшалось до 170 мм (Сляднев, 1965; Харламова и др., 2014; Шмидт и др., 2016). Почвы изучаемого района развивались на мезозойских и кайнозойских осадочных породах в соответствующих климатических условиях. Равнина сформирована толщей плейстоценовых и голоценовых отложений мощностью 50–60 метров, которая перекрыта 0.5–10-метровым слоем эоловых отложений. Почвенный покров Кулундинской степи представлен вариантами каштановых почв, южных черноземов, лугово-каштановыми и луговыми почвами, солонцами и солончаками с разной степенью гидроморфизма. Текстура каштановых почв значительно варьируется в результате древнего лимно – и эологенеза территории: песчаные суглинки (15–19% – глина, 11–20% – супесь, 65–70% – песок), для которых характерно относительно высокое содержание гумуса (2–4%) и углерода (5–8%) (Базилевич 1959; Rudaya et al., 2012). Подобный гранулометрический состав обусловил слабую водоудерживающую способность и высокую инфильтрацию. Осадки в регионе являются ограничивающим фактором, поэтому оценка и управление водно-солевым балансом почв имеет большое значение для оценки потенциала урожайности и устойчивого развития. В подобных агроклиматических условиях всегда был актуальным поиск методов минимизации дефицита влаги. В «эпоху мелиорации» в СССР (1970-е гг.) Кулундинскую равнину включили в народно-хозяйственный план по увеличению орошаемых земель за счет поливного земледелия (Мосиенко, 1972). С начала 1990-х гг. экономические условия изменились, дорогостоящая ирригация перестала играть существенную роль в сельском хозяйстве. Были разработаны альтернативные методы повышения эффективности использования почвенной влаги (Дмитриева, Напрасников, 2008). Эффективными приемами для сохранения почвенной влаги являются минимальная обработка или полный отказ от обработки почвы (нулевые технологии), включая сохранение стерни и измельчение растительных остатков (Беляев и др., 2016).

Одним из направлений междисциплинарного проекта «Кулунда» было оценка методов управления почвенными ресурсами в соответствии с их влиянием на баланс почвенной воды и растворенных веществ в Кулундинской степи Алтайского края. Для изучения данной темы была развернута агроклиматическая автоматическая измерительная мониторинговая сеть на территории крестьянского хозяйства «Партнер», село Полуямки Михайловского района Алтайского края (далее стационар «Полуямки»).

Основными аспектами исследования данного стационара явились:

- изучение региональных особенностей климата с помощью метеорологических станций (англ. weather stations – WS);

- сравнение режима влажности почвы между технологией с глубокой осенней обработкой почвы (англ. deep autumn tillage technology – DATT) и современной технологией без обработки почвы (англ. no-tillage – No-Till) с использованием данных почвенно-гидрологических измерительных станций (англ. soil-hydrological measuring stations – SHMS);
- исследование актуальной эвапотранспирации (Eta) на основе измерений лизиметрической станции (англ. Lysimeter stations) под пашней (LYS 1) и естественным степным ценозом (LYS 2).

12.1. Материалы и методы

В сентябре 2012 г. на стационаре «Полуямки» были установлены одна WS и две SHMS (производитель – «Eco-Tech», ФРГ). WS оснащена на стандартной высоте 2 м мультисенсорном WXT 520 (фирма «Vaisala», Финляндия), измеряющим скорость и направление ветра, температуру и влажность воздуха, барометрическое давление, жидкие (летние) осадки, а также пиранометром для измерения солнечной радиации (фирма «Kipp&Zonen», Нидерланды). Наряду с летними дополнительно измерялись зимние осадки при помощи плювиометра, который входит в состав суммарного осадкомера «Хельманна» на стандартной высоте 1 м (см. табл. 12.1). SHMS оснащены TDR-датчиками (принцип временно-частотной рефлектометрии, англ. time-domain reflectometry, сокр. TDR), измеряющими объем почвенной влаги, температуру почвы, капиллярно-сорбционный потенциал (матричный потенциал) почвы и электропроводность, которые установлены на глубине 30, 60 и 120 см и передают данные в автоматическом режиме (см. табл. 12.1). В июне-августе 2013 г. на стационаре была установлена двухсекционная лизиметрическая гравитационная станция, которая состоит из полиэтиленового корпуса (полиэтилен высокой плотности PE-HD) и помещенных в него на высокоточные весы двух стальных цилиндрических емкостей (площадь контактной поверхности – 1 м², высота – 2 метра) для отбора, хранения и взвешивания почвенных монолитов (рис. 12.1). Лизиметр разработан и произведен фирмой «Приборы для окружающей среды», нем. сокр. UGT, ФРГ) при участии Центра экологических исследований им. Гельмгольца (нем. сокр. UFZ, ФРГ). Один почвенный монолит, извлечён из пашни (далее LYS 1), а второй отобран на залежи, которая была вспахана однажды в 1950-х гг., но с тех пор покрыта естественной степной растительностью (далее LYS 2) (рис. 12.2) (Balykin et al., 2016).

Таблица 12.1

Технические характеристики и данные о расположении оборудования

Название и координаты WGS (1984)	Лизиметр	Почвенно-гидрологические станции		Метеорологическая станция
	N 52° 03,959' E 79° 42,786'	DAAT (SHMS 1) N52 04.180 E79 54.014	No-Till (SHMS 2) N52 04.128 E79 54.006	N 52° 03,959' E 79° 42,786'
Параметры	Масса почвенных монолитов для учета количества разнообразных атмосферных осадков, эвапотранспирации, количество и содержание фильтрационной воды, влажность и температура почв, давление почвенной влаги осмотическое.	Содержание влаги и температура почвы, давление почвенной влаги осмотическое, электропроводность		Летние (жидкие) осадки (мульти-сенсор), а также эквивалент твердых осадков (плювиометр в осадкомере Хельмана), направление и сила ветра, температура, влажность и давление воздуха, количество солнечной радиации
Типы сенсоров	1. TDR-сенсор: содержание влаги почвы в объемном проценте и температура почвы. 2. Тензиометр: капиллярно-сорбционный потенциал, температура почвы и электропроводность. 3. Сенсор для отбора почвенного раствора. 4. Инфильтрометр 5. Электронные весы для определения массы монолитов (поступающих осадков и испарения)	1. TDR-сенсор: содержание влаги почвы в объемном проценте и температура почвы. 2. Тензиометр: капиллярно-сорбционный потенциал, температура почвы и электропроводность.		1. Мультисенсор WXT-520 «Vaisala»: температура, летние осадки, влажность воздуха, атмосферное давление, сила и направление ветра. 2. Радиометр: солнечная радиация. 3. Пульвиометр в осадкомере Хельмана: измерение осадков в твердой фазе.
Высота и глубина расположения датчиков см)	-30; -50; -120	-30, -60, -120		+100 (Осадкомер) +200 (Радиометр) +230 (Мультисенсор)

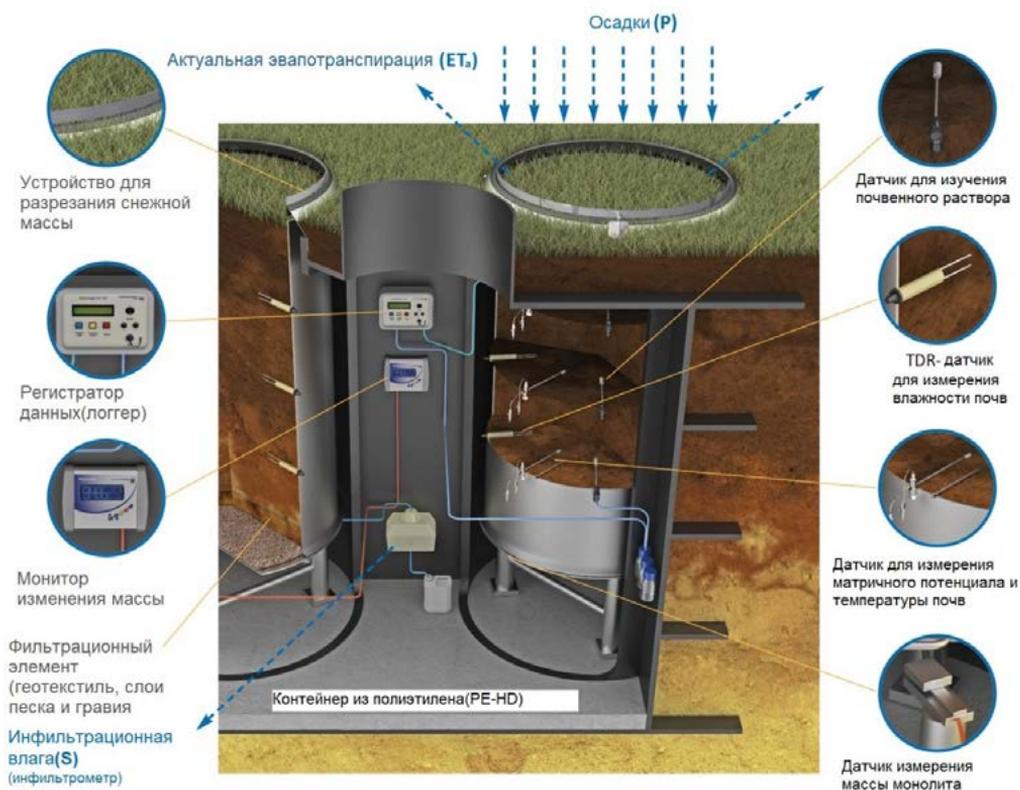


Рис. 12.1 Схема двухсекционной лизиметрической станции гравитационного типа, стационар «Полюямки» (Balykin et al., 2016)

Почвенные монолиты согласно классификации, принятой Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО), идентифицированы как кальциевые черноземы (англ. Calcic Chernozems), по российской классификации это южный чернозем суглинистый среднесиловый малогумусный. Первый монолит (LYS 1) включает гумусовый (пахотный) горизонт (Aph) мощностью 25 см, далее горизонт (AC) также мощностью 25 см, ниже которого находится подстилающий материнский горизонт (C), который включает



Рис. 12.2. Стальное кольцо в месте отбора почвенного монолита (LYS 2): естественная разнотравно-ковыльняная степь (Stípa pennáta). Фото: А. Бондарович (июнь, 2013)



Рис. 12.3. Кольцо для разрезания снежной массы. Фото: А. Бондарович (2016)

карбонатные отложения. Участок находился в интенсивном сельскохозяйственном использовании в течение 60 лет. Второй монолит (LYS 2) включает гумусовый горизонт (Ah) мощностью 30 см, далее AC-горизонт мощностью 15 см, и далее материнский C-горизонт, который включает карбонатные отложения (Balykin et al., 2016, p. 392). В оба монолита на глубинах

(30–50–120 см) установлено по три сенсора: 1) TDR-датчик измеряет влажность и температуру почвы; 2) тензиометр измеряет капиллярно-сорбционный (матричный) потенциал, который определяет доступность почвенной влаги растениями; 3) сенсор в комплекте с микроэлектронасосом, который отбирает на анализ почвенный раствор (см. табл. 12.1). Этот лизиметр разрабатывался специально для зимних условий Южной Сибири и включает в комплект кольцо для отделения поверхности монолита лизиметра от близлежащей снежной массы (рис. 12.3).

Следует отметить, что две почвенно-гидрологические станции (SHMS 1 и 2) были установлены на пашне, где отбирали почвенный монолит (LYS 1). Двухсекционной лизиметр позволяет проводить сравнительный анализ физико-химических параметров пахотных земель и естественной сухой разнотравно-ковыльной степи. Монолиты постоянно взвешивали в режиме реального времени для фиксации поступающей и испаряющейся влаги, что позволяет рассчитать Ета в мм с помощью следующего уравнения:

$$E_{\text{та}} = P(t) - S(t) - W(t), \quad (1)$$

где $P(t)$ – осадки (мм); $S(t)$ – инфильтрация, (мм); $W(t)$ – изменение количества почвенной влаги (мм), обусловленное изменением массы лизиметр во времени ($1 \text{ кг} \approx 1 \text{ л/м}^2 = 1 \text{ мм}$); t – время измерения параметров (Balykin et al., 2016, p. 391).

12.2. Результаты

12.2.1. Температура и осадки

Измеренные температура воздуха и осадки WS «Полуямки» показали существенную корреляция с метеорологическими данными метеостанций (Росгидромет) в Алтайском крае (Stephan et al., 2014; Майсснер и др., 2016; Шмидт и др., 2016). Устойчивый переход через $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ среднесуточной температуры воздуха используется как критерий для выявления начала/конца

вегетационного периода (Friedrich et al., 2009; Kasam et al., 2009; Crabtree, 2010). Самый длинный вегетационный сезон был зарегистрирован в 2014 г. и составил 202 дня (29 марта – 10 октября). В 2015 г. продолжительность вегетационного периода составила 184 дня (11 апреля – 12 октября), в 2016 г. – 187 дня (1 апреля – 4 октября). Анализ данных о вегетационном сезоне за май-сентябрь 2013–2016 гг. показал, что самый теплый период приходился на 2015 г., а самыми влажными были 2014 и 2016 гг. (Беляев и др., 2016; Шмидт и др., 2016). Результаты по измеренным метеопараметрам (средне-месячные данные) за 2015–2016 гг. представлены в таблице 12.2. Данные по осадкам приведены по мультисенсору WXT-520 «Vaisala».

Таблица 12.2

Среднемесячные метеорологические параметры по метеостанции за вегетационные периоды 2015 и 2016 гг.

Период	Температура воздуха, среднее (°C)	Влажность воздуха, среднее (%)	Солнечная радиация, среднее (Вт/м ²)	Скорость ветра, среднее (м/с)	Сумма осадков (мм)
2015 г.					
Май	15.7	50.5	279.6	3.1	22.4
Июнь	20.9	54.5	299.3	3.2	59.0
Июль	21.4	55.1	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	18.0
Среднее (Сумма)	17.8	53.8	234.9	2.8	(244.5)
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	227.0	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
Среднее (Сумма)	17.7	54.6	230.3	2.4	(287.9)

12.2.2 Влажность почвы

Почвенно-гидрологические станции (SHMS) были установлены в сентябре 2012 г. на пашне для тестирования различных технологий земледелия (основной акцент – почвенная обработка, севооборот и средства защиты растений). В мае 2013 г. для сопоставления с международными результа-

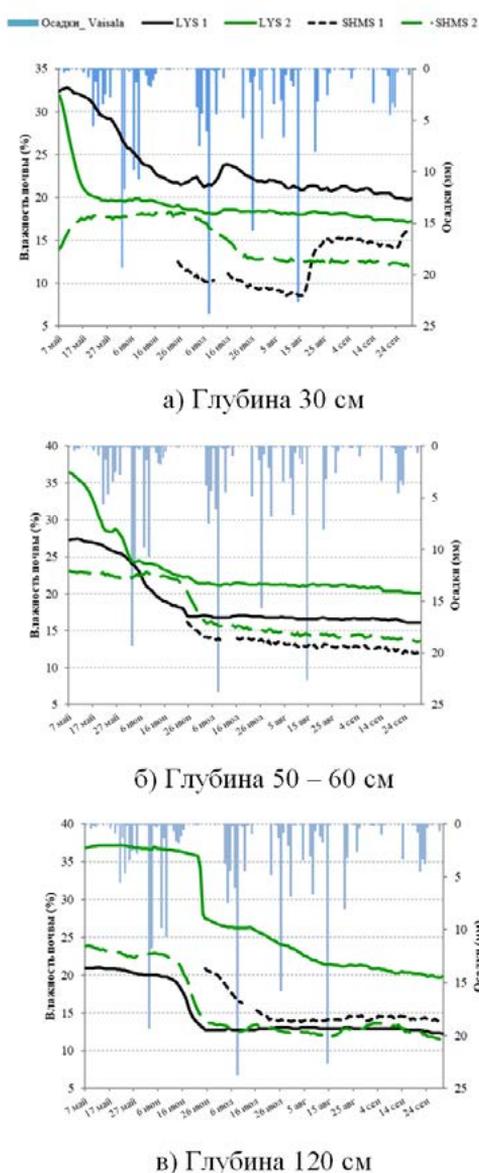


Рис. 12.4. Влажность почвы (%) на глубинах 30–50 и 60–120 см и осадки (мм), данные WS, SHMS 1, 2 и LYS 1, 2. Период наблюдений с 7 мая по 30 сентября 2015 г.

для всех устройств мониторинга, а также окончание «переходного этапа» для системы No-Till. Особенно интересен 2015 г., когда пашня была засеяна яровой пшеницей (SHMS 1 и LYS 1, см. рис. 12.4). Влажность почвы на глу-

тами исследований, проводимых в Канадских прериях (Lafond et al., 2011) был внедрен новый дизайн полевого опыта для изучения следующих технологий:

а) SHMS 1: технология «DATТ». Для обработки почвы на глубину 22–24 см использовался ПГ-3-5, для посева – СЗС 2.1. Севооборот: пшеница (2013) – пар (2014) – пшеница (2015) – пшеница (2016);

б) SHMS 2: технология «No-Till» без осенней обработки почвы. Использовался экспериментальный комплекс прямого посева на базе «Condor 12001» (фирма «Amazone», ФРГ). Севооборот: пшеница (2013) – рапс (2014) – гречиха (2015) – горох (2016). Дополнительные измерения влажности почвы были проведены на лизиметрической станции LYS 1 и LYS 2 на глубинах 30-50-120 см. На пашне LYS 1 был применен следующий севооборот: пшеница (2013)- горох (2014) – пшеница (2015) – пар (2016). Поверхность LYS 2 представляет собой участок нетронутой разнотравно-ковыльной степи с отдельно стоящим Ковылем перистым (лат. *Stípa pennáta*) (2013–2016 гг.).

Наибольший интерес представляют результаты измерений за период май-сентябрь 2015–2016 гг., который характеризуется наиболее полным набором данных

бине 30 см для SHMS 1 и LYS 1 в 2015 г. различалась практически в два раза. Так, в июне-июле-августе 2015 г. по LYS 1 зафиксированы значения 22.4–23.4–21.3 %, а по SHMS 1: 11.7–10.2–11.3%. Скорее всего, стенки стальной емкости монолитов лизиметра, препятствуя горизонтальному стоку и повышают влажность в ограниченном пространстве. Изначально была гипотеза, что условия по SHMS 2 должны быть близки LYS 2 и это подтвердили измерения: содержание влаги в почве на 30 см июнь-июль-август по LYS 2 (19.3–18.3–18.2 %) незначительно превышали данные по SHMS 2 (18.0–14.8–12.6%). Предсказуемо, на 30 см по LYS 2 отмечены меньшие значения влажности, чем по LYS 1, что объясняется повышенным водопотреблением плотно сомкнутой степной растительности. Но на глубинах 50 и 120 см мы наблюдали более высокое содержание влаги по LYS 2, что подтверждает гипотезу о накоплении влаги в естественных сухостепных ценозах на глубинах ниже 30 см, которые в период засухи используются растениями, и если мы наблюдаем подобный эффект и по системе No-Till, то можно предположить, что данная технология является более устойчивой к засухе (рис. 12.4).

Результаты измерений влажности почвы, проведенных Lys 1 в 2016 г., интересны тем, что здесь тестировался «механический пар» (рис. 12.5). Мы отметили плавное снижение содержания влаги в почве на всех глубинах. Этот вывод подтверждает целесообразность использования паров для

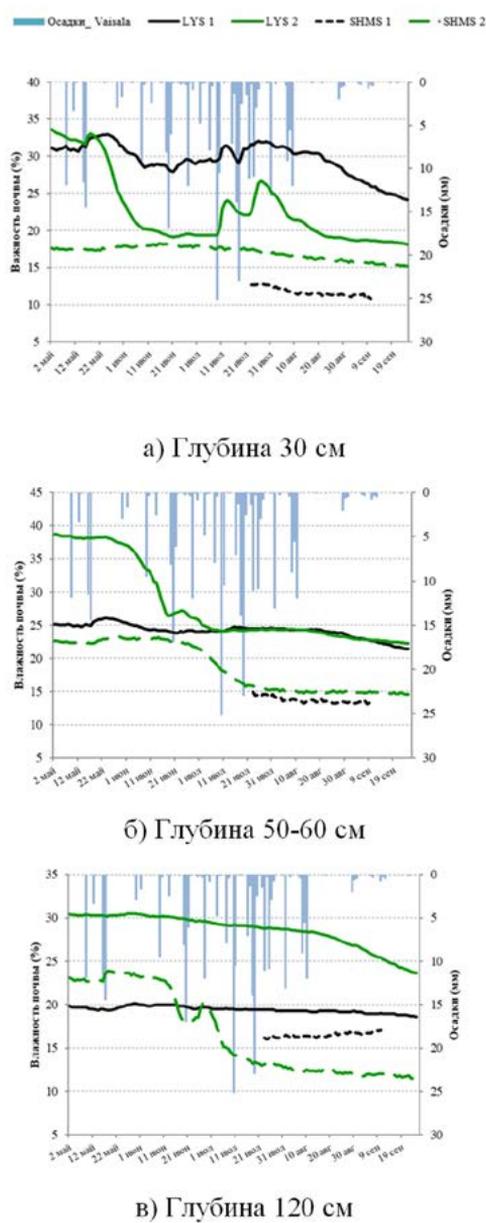


Рис. 12.5. Влажность почвы (%) на глубинах 30–50 и 60–120 см и осадки (мм), данные WS, SHMS 1, 2 и LYS 1, 2. Период наблюдений с 7 мая по 25 сентября 2016 г.

сохранения водных ресурсов. Однако экономическая эффективность этой стратегии управления не решена до сих пор и требует дальнейших исследований.

Таблица 12.3

Среднемесячная влажность почвы на глубине 30, 60, 120 см в течение вегетационного сезона 2015 и 2016 гг.

Период наблюдений	Влажность почвы глубина 30 см (%)		Влажность почвы глубина 60 см (%)		Влажность почвы глубина 120 см (%)	
	DAAT	No-Till	DAAT	No-Till	DAAT	No-Till
2015						
Май	-	16.1	-	22.7	-	23.1
Июнь ¹⁾	11.8	18.0	15.4	21.6	15.4	19.0
Июль ²⁾	10.2	15.0	13.8	15.5	13.8	12.9
Август	11.3	12.6	13.0	14.5	13.0	12.5
Сентябрь	14.9	12.4	12.5	14.1	12.5	12.7
Среднее	12.0	14.8	13.7	17.7	13.7	16.0
2016						
Май ³⁾	21.4	17.5	21.6	22.6	20.7	23.2
Июнь	-	17.9	-	22.6	-	20.8
Июль ⁴⁾	12.7	17.5	14.5	17.4	16.2	14.3
Август	11.6	16.4	13.6	15.0	16.5	12.4
Сентябрь ⁵⁾	11.2	15.5	13.3	14.8	16.9	11.8
Среднее	15.6	17.0	16.8	18.5	18.2	16.5

Примечание: ¹⁾ Данные за 25–30 июня 2015 г. ²⁾ Нет данных с 11–15 июля 2015 г. ³⁾ Данные по DAAT только за 5 мая 2016 г. ⁴⁾ Данные по DAAT за 23–31 июля 2016 г. ⁵⁾ Данные за 1–25 сентября 2016 г.

Анализ режима почвенной влажности SHMS 1 и 2 за 2013–2016 гг. показал, что преимущества «No-Till» проявили себя только на третий год опыта (2015 г.) на глубинах 30 и 60 см в июне-июле, когда полянка была засеяна яровой пшеницей (см. табл. 12.3). В 2016 г. мы наблюдали те же эффекты, когда полянка была засеяна горохом, у которого влагопотребление выше, чем у яровой пшеницы. В целом, измерения на различных глубинах в период вегетационных сезонов 2015–2016 гг. по системе No-Till демонстрирует схожую динамику влажности почвы.

12.2.3. Эвапотранспирация

Первые результаты по апробации методики расчета водного баланса в Кулундинской степи с использованием гравитационного лизиметра были опубликованы в ряде работ (Stephan et al., 2014; Balykin et al., 2016; Meissner

et al., 2016). По техническим причинам, которые характерны для всех автоматических систем измерения, существуют пробелы в данных. В зимние месяцы система, которая должна отсекал снежный слой на монолитах лизиметра от соседнего участка, работала нерегулярно, поэтому не удалось получить непрерывный ряд по зимним осадкам и снегозапасу. Наиболее полные ряды данных были зарегистрированы по вегетационным сезонам 2015–2016 гг. Вследствие неисправности весов одного из монолитов LYS 1 данные с мая по 24 июня 2015 г. ошибочны. В целом, среднемесячные данные для вегетационных периодов 2015–2016 гг. представлены в таблице 12.4. Отмечены существенные различия Eta между LYS 1 и LYS 2. Степная растительность увеличивает потерю влаги за счет более высокой транспирации. Например, в июле и августе 2015 г. разница по Eta между LYS 1 и LYS 2 составила 28%. Существенные различия наблюдались и в течение всего вегетационного периода 2016 г. Интересно сравнить рассчитанные по лизиметру значения Eta с данными, полученными при помощи простых испарителей за 1965–1970 гг., опубликованных в монографии «Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации» (1972 г.). Общая величина испарения в конце 1960-х гг. в течение вегетационных сезонов в районе Михайловский содовый завод (примерно на удалении 25 км от лизиметра) составляла 372,6 мм и по месяцам с мая по сентябрь включительно составила 71,3–75,0–77,5–74,4–74,4 мм.

Таблица 12.4

Результаты измерения количества осадков и актуальной эвапотранспирации (Eta) с помощью гравитационного лизиметра

Период	Количество дней наблюдений	Суммарные осадки по лизиметру (мм)		Температура почвы на глубине 30 см (°C)		Влажность почвы на глубине 30 см (Vol.%)		Актуальная эвапотранспирация по лизиметру (мм в месяц)		Актуальная эвапотранспирация по лизиметру (мм в день)	
		Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)
2015											
Май	24 ¹⁾	–	28.8	15.2	13.4	30.9	22.6	–	105.2	–	4.4
Июнь	30	–	47.4	19.5	18.0	23.4	19.3	–	130.3	–	4.3
Июль	31	73.3	86.7	22.1	19.8	22.5	18.4	78.5	117.6	2.5	3.8

Окончание таблицы 12.4

Период	Количество дней наблюдений	Суммарные осадки по лизиметру (мм)		Температура почвы на глубине 30 см (°C)		Влажность почвы на глубине 30 см (Vol.%)		Актуальная эвапотранспирация по лизиметру (мм в месяц)		Актуальная эвапотранспирация по лизиметру (мм в день)	
		Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)	Пашня (LYS 1)	Степь (LYS 2)
Август	31	50.1	64.3	19.9	18.2	21.3	18.2	66.8	87.2	2.2	2.8
Сентябрь	30	36.6	71.6	14.5	13.1	20.5	17.6	38.2	72.0	1.3	2.4
Среднее (сумма)	(146)	160.1	298.8	18.2	16.5	23.7	19.2	(183.4)	(512.3)	1.3	3.5
2016											
Май	9 ²⁾	10.2	10.4	13.6	11.2	31.7	31.1	6.6	21.7	0.7	2.4
Июнь	22 ³⁾	49.4	61.8	20.5	17.7	29.2	20.2	36.4	120.1	1.7	5.5
Июль	31	109.4	129.9	21.8	20.3	30.6	22.5	93.1	135.9	3.0	4.4
Август	31	24.7	37.9	20.1	18.2	30.1	20.8	58.7	116.2	1.9	3.7
Сентябрь	25 ⁴⁾	5.4	18.2	18.4	16.1	25.7	18.5	24.1	54.5	1.0	2.2
Среднее (сумма)	(118)	199.1	258.2	18.9	16.7	29.4	22.6	(219.0)	(448.4)	1.9	3.8

Примечание: ¹⁾ Данные за 7 мая – 31 мая 2015 г.; ²⁾ Данные за 1 мая – сентябрь 2016 г.; ³⁾ Данные за 8 июня 2016 г.; ⁴⁾ Данные за 1 – 25 сентября 2010 г.

Понимаем, что сравнивать данные, полученные различными измерительными инструментами, не совсем корректно, но сделанное нами сравнение подтверждает тенденцию на рост засушливости климата и возрастающее испарение. Это согласуется с другими исследованиями, которые выявили положительную линейную тенденцию в ходе годовой температуры и отрицательную динамику годового количества осадков в степной зоне Алтайского края за период 1966–2011 гг. (Харламова и др., 2014).

12.3. Дискуссия

Наиболее важными дискуссионными вопросами в современной метеорологии являются: а) репрезентативность данных и б) поиск источников возможных ошибок измерения (Hoffmann, et al., 2016). Общая проблема репрезентативности особенно актуальна при измерениях осадков. Существует множество погрешностей, типичных для дождевых осадкомеров, которые иногда фиксируют только 30% от фактического количества осадков, достигающих поверхности земли. Кроме того, мы обнаружили различия в измерениях влажности почвы между LYS 1 и 2, а также между SHMS 1 и 2. Эти различия были вызваны: а) слабой связью на уровне обмена веществом и энергией между монолитами лизиметра, и окружающим ландшафтом и б) различия в технических характеристиках используемых типов датчиков. Рассмотрим ошибки, вызванные техническими особенностями датчиков. SHMS 1 и 2 оснащены датчиками «Hydra-Sonde», которые измеряют влажность почвы (точность $\pm 3\%$), температуру почвы (точность $\pm 0,1$ °C), электропроводность (точность ± 5 мС/м). LYS 1 и 2, оснащены датчиками «UMP1», которые измеряют: влажность в почве (точность $\pm 2\%$), температуру почвы (точность $\pm 0,2$ °C) и электропроводность (точность $\pm 1\%$ мС/м). Особенностью датчика UMP1 является возможность интегрировать принципы измерения TDR (англ. Time-domain reflectometry, рефлектометрия во временной области) и FDR (англ. Frequency domain reflectometry, рефлектометрия частотной области), которые позволяют использовать его для различных почвенных условий. Мы полагаем, что технические различия между датчиками достаточно малы и ими можно пренебречь. В целом, следует отметить, достаточно хорошую согласованность между различными измерительными системами. Во время вегетации лизиметр с хорошей точностью отражает ход процессов под естественным степным ценозом. Проблемы возникают с твердыми (зимними) осадками, поскольку система отделения снежной массы монолита от соседнего участка функционирует крайне нестабильно. Кроме того, разница во влажности почвы при измерении лизиметром и почвенно-гидрологическими станциями на разных глубинах требует дальнейшего исследования.

Выводы

Выявлены определенные преимущества No-Till по сравнению с DATТ за счет более доступной почвенной влаги на глубине 30–60–120 см. Мы полагаем, что под системой No-Till формируются более благоприятные условия для движения влаги между горизонтами и при иссушении поверхностного слоя происходит подъем влаги с более глубоких горизонтов, что делает эту систему более устойчивой к засухе. Кроме того, мы наблюдали близкую динамику по измерениям лизиметра (степь) и системы No-Till, что наводит на мысль: No-Till постепенно формирует почвенные условия, близкие к природному фону. Впервые получены высокоточные лизиметрические измерения и на их основе количественные расчеты эвапотранспирации в подзоне сухой степи Кулундинской равнины. Необходимы дальнейшие исследования для расширения сети мониторинга и возможной экстраполяции данных для других засушливых степных регионов Сибири, Казахстана, Монголии и Китая.

Благодарности

Статья основана на результатах научно-исследовательской работы, проведенной в области германо-российского проекта сотрудничества «Кулунда». Проект финансировался Федеральным министерством образования и науки Германии (BMBF; FKZ 01LL0905D). Мы хотели бы поблагодарить всех коллег немецких и российских партнерских научных организаций за их сотрудничество и поддержку во время исследования. Особая благодарность руководителям КФХ «Партнер» А.А. Кожанову и С.А. Кожанову за поддержку при установке и обслуживании лизиметрической станции.

Работа выполнена в рамках госзадания Алтайского государственного университета «Тюрко-монгольский мир "Большого Алтая": единство и многообразие в истории и современности» (проект номер – 748715Ф.99.1.ББ97АА00002).

Библиографический список

- Базилевич Н.И. Почвы каштановой зоны сухой степи // Почвы Алтайского края. М., 1959. С. 31–46.
- 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.
- Беляев В., Грюнвальд Л., Майнелъ Т., Шмидт Г., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Понькина Е.В., Мацюра А.В., Штефан Е., Иллигер П., Кожанов Н.А., Рудев Н.В. Водный режим почвы и урожайность при различных технологиях возделывания в Кулундинской степи Алтайского края // Вестник Днепрпетровского университета. Биология, экология. 2016. № 24. С. 531–539.

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.

Дмитриева В.Т., Напрасников А.Т. Век тор эволюции мелиоративного природопользования: от древнего до современного мира // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. 2008.–№ 2 (24). С. 6–15.

Кулундинская степь и вопросы ее мелиорации / под ред. П.Я. Полубаринова-Кочина. Новосибирск : Наука, 1972. 508 с.

Майсснер Р., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Понькина Е.В., Мацюра А.В., Пузанов А.В., Рупп Х., Шмидт Г., Стефан Е., Иллигер П., Фрюауф М., Харламова Н.Ф., Галахов В.П., Балыкин Д.В., Рудев Н.В. Методика расчета водного баланса для сухой степи юга Западной Сибири по данным международной мониторинговой сети // Биологический бюллетень Мелитопольского государственного педагогического университета им. Богдана Хмельницкого. 2016. №6 (2). С. 223–238.

Мосиенко Н.А. Агрогидрологические основы орошения на примере Западной Сибири, Урала и Северного Казахстана. Л. : Гидрометеиздат, 1984. 215 с.

Сляднев А.П. Географические основы климатического районирования и опыт их применения на юговостоке 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., Бондарович А.А., Козлова Д.С., Плехова А.В. Изменчивость увлажненности территории лесостепной и степной зон Алтайского края в течение 1982–2013 гг. // География и природопользование Сибири: сборник научных статей, 2014. Вып. 18. С. 206–215.

Шмидт Г., Бондарович А.А., Щербинин В.В., Понькина Е.В., Харламова Н.Ф., Мацюра А.В., Стефан Е., Иллигер П., Рудев Н.В., Кожанов Н.А. Результаты функционирования международной агрометеорологической и почвенно-гидрологической сети мониторинга в пределах Кулундинской равнины на юге Западной Сибири за 2013–2015 гг. // Acta Biologica Sibirica. 2016. №2. С. 89–102.

Balykin D., Puzanov A., Stephan E., Meissner R. (2016). Using the Innovative Lysimeter Technology in the German–Russian Research Project «KULUNDA». In: Mueller, L.; Sheudshen, A.K. & Eulenstein, F. (eds.). Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources Siberia. Cham: Springer International Publishing, P. 387–399.

Crabtree, B. (2010). Search for Sustainability in Dryland Agriculture. Beckenham, WA: Crabtree Agricultural Consulting.

Friedrich T., Kasam A.H. and Shaxon F.T. (2009). Conservation Agriculture. Final Report Agriculture for Developing Countries, Science and Technology Options

Assessment (STOA) Project. Karlsruhe: European Technology Assessment Group.

Hoffmann M., Schwartengraber R., Wessolek G. and Peters A. (2016). Comparison of simple rain gauge measurements with precision lysimeter data. *Atmospheric Research* 174-175. P. 120–123.

Kassam A.H., Friedrich T., Shaxson F. and Pretty J. (2009). The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(4). P. 1-29.

Lafond G. P., Walley F., May W. E. and Holzapfel C. B. (2011) Long term impact of No-Till on soil properties and crop productivity on the Canadian prairies *Soil & Tillage Research* 117. P. 110–123 DOI: 10.1016/j.still.2011.09.006/

Rudaya N., Nazarova L., Nourgaliev D., Palagushkina O., Papin D. and Frolova L. (2012). Mid-late Holocene environmental history of Kulunda, southern West Siberia: vegetation, climate and humans. *Quaternary Science Reviews* 48. P. 32–42.

Stephan E., Meissner R., Rupp H., Frühauf M., Schmidt G., Illiger P., Bondarovitsch, A.; Balykin, D.; Scherbinin, V. and Puzanov, A. (2014). Aufbau eines bodenhydrologischen Messnetzes in der sibirischen Kulundasteppe. *Wasserwirtschaft* 10. P. 15–22.