

Водный режим видов семейства *Poaceae* в условиях засухи

М. В. Власенко¹✉, К. Ю. Трубакова^{1, 2}

¹ Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

✉ E-mail: vlasencomarina@mail.ru

Аннотация. Цель исследований – рассмотрение закономерностей водного режима растений в засушливых условиях в зависимости от изменений условий внешней среды и физиологии растений. В задачи исследований входило выявление способностей трав семейства *Poaceae* (*Festuca pratensis*, *Bromus inermis* L., *Agropyron cristatum* L., *Agropyrum Gaertn.*), интродуцированных в посевах на вегетационных площадках лизиметрического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН (г. Волгоград), к устойчивости в неблагоприятных условиях среды. **Научная новизна и практическая значимость.** Исследование способствует решению вопросов результативного прогнозирования высокой продуктивности кормовых трав, так как водно-режимные закономерности роста и развития растительности необходимо принимать во внимание при разработке оптимальных приемов выращивания. **Методы.** Определение водоудерживающей способности трав проводилось по методике Арланда и основано на учете потере воды растениями. Интенсивность транспирации определялась по методу быстрого взвешивания отобранного листа Л. А. Иванова. Описан механизм удержания воды растениями при нарастании засухи. **Результаты.** Установлено, что многолетние травы семейства *Poaceae* обладают высоким потенциалом прочности против почвенной и атмосферной засухи. Наибольшей водоудерживающей способностью отличаются *Bromus inermis* L. (87,8 %), *Agropyrum Gaertn.* (87,1 %) и *Agropyron cristatum* L. (87,0 %). Свойство изменять водоудерживающую способность можно рассматривать не только как адаптивную функцию в изменяющихся условиях внешней среды, но и как динамический процесс, который характеризует естественный ход метаболизма клеток и тканей в онтогенезе. Показатели интенсивности транспирации у видов семейства *Poaceae* обычно достигают максимума до высоких полуденных температур. Наибольшие показатели выявлены у *Bromus inermis* L. и *Agropyrum Gaertn.*, для которых в утренние часы они достигала 1,41–1,42 г/дм²-ч.

Ключевые слова: фаза развития, водный режим, интенсивность транспирации, водоудерживающая способность, засуха.

Для цитирования: Власенко М. В., Трубакова К. Ю. Водный режим видов семейства *Poaceae* в условиях засухи // Аграрный вестник Урала. 2019. № 11 (190). С. 2–8. DOI: 10.32417/article_5dcd861e230788.72509133.

Дата поступления статьи: 19.07.2019.

Постановка проблемы (Introduction)

Проблемы водного режима, засухоустойчивости и физиологии растений при различных условиях водоснабжения всегда вызывали интерес у исследователей [1, с. 7; 2, с. 17; 3, с. 793; 4, с. 527; 5, с. 301]. Особенно большой интерес представляют вопросы изучения отношения растений к недостаточному или избыточному увлажнению почв в разные периоды развития, особенно в критические, так как вода, удовлетворяя все потребности растения и являясь важнейшим условием нормального развития, связывает растительность со средой обитания и обеспечивает единство организма с условиями этой среды [6, с. 13; 7, с. 8]. Устойчивость растений к повреждающему влиянию засухи в значительной мере определяется стойкостью их к обезвоживанию [8, с. 27; 9, с. 11].

Известно, что, как недостаток, так и избыток увлажнения почвы снижают продуктивность растений. Причем это снижение неодинаково и зависит от того, в какой период развития недостаток или избыток воды действует на растение. Современные толкования отдельных вопросов

водного режима растений достаточно неопределенны и противоречивы, в связи с чем возникает необходимость не только практических исследований, но и развития теоретических положений, на которых должны основываться объяснения наблюдаемых явлений.

Приспосабливаясь к засушливым условиям, растения задерживают фитомассой часть осадков и расходуют влагу на транспирацию. На интенсивность транспирации влияют биологические свойства вида, возраст растений (чем он больше, тем интенсивность транспирации меньше), продолжительность вегетации, проективное покрытие. Так, наибольшей интенсивностью транспирации характеризуются листья верхнего яруса растений [11, с. 8530]. Погодные, почвенные, водно-режимные условия также оказывают определенное влияние на протекание этого сложного процесса. Интенсивность транспирации возможно регулировать различными дозами и составом минеральных удобрений [10, с. 99].

Так как растения по-разному реагируют на водный дефицит, то вопросы о выявлении потребности растений в

воде очень актуальны и имеют практическую значимость. Целью исследований являлось рассмотрение закономерностей водного режима растений в зависимости от изменений условий внешней среды и физиологии растений. В задачи исследований входило выявление способностей трав семейства *Poaceae*, интродуцированных в посевах на вегетационных площадках лизиметрического комплекса ФНЦ агроэкологии РАН (г. Волгоград), к устойчивости в неблагоприятных условиях среды. Объекты изучения: *Festuca pratensis*, *Bromus inermis* L., *Agropyron cristatum* L., *Agropyrum Gaertn.*

Методология и методы исследования (Methods)

Процесс формирования фитомассы растений сложен и зависит от комплекса параметров: генетических особенностей видов, влажностно-термического режима вегетационного периода, светового режима, наличия влаги в почве и др. [12, с. 17; 13, с. 18; 14, с. 19; 15, с. 42]. В аридных условиях перед растениями стоит задача выживания за счет сохранения оводненности тканей, что достигается способностью поглощать и одновременно ограничивать потери воды. Быстрорастущим растениям воды необходимо больше, чем в них содержится [16, с. 21]. Повышение эффективности транспирации, то есть биомассы, произведенной на единицу выпаренной воды, является одним из главных факторов при селекции видов [17, с. 8964].

Исследование способствует решению задачи получения высокой продуктивности кормовых трав в условиях засухи, так как водно-режимные закономерности роста и развития растительности необходимо принимать во внимание при разработке оптимальных приемов выращивания.

Интенсивность транспирации определялась по методу Л. А. Иванова. Взвешивание листьев трав семейства *Poaceae* проводили с 8.00 утра до 20.00 вечера через каждые 3 часа. Водоудерживающая способность растений определялась по методу Арланда, основанному на учете процента потерянной воды от общей массы испарений. Обработка данных проводилась по методике Б. А. Доспехова.

Результаты (Results)

Происходящие в растениях процессы, в том числе и водообмен, должны рассматриваться с точки зрения закономерностей термодинамики открытых систем (где все процессы связаны между собой), так как растения являются открытыми системами. И водообмен растений не должен рассматриваться в отдельности от целостного обмена веществ. Различают водообмен растений: внутри клетки между протоплазмой и клеточным соком; между клетками в растении; по растению с помощью водопроводящей системы. Механизм передвижения воды по растению определяет величина парциального химического потенциала воды, наименьшую величину которого обычно имеет атмосферный воздух, а наибольшую при достаточном увлажнении – почва. Система атмосфера-растение-почва устанавливает вектор химического потенциала воды снизу вверх, вызывая восходящий водный ток в растении и испарение листьями воды. В случае превышения интенсивности транспирации перед интенсивностью подачи корнями воды, в проводящих элементах создается отрицательное давление и происходит натяжение нитей воды в просветах

сосудов стебля и корня. Отрицательное давление снижает активность воды в сосудах, что увеличивает градиент активности воды в прилегающих к сосудам клетках мезофилла. В результате скорость восходящего тока воды в растении возрастает.

Основным органом транспирации растения являются листья. Атмосферная засуха вызывает резкое повышение транспирации, в связи с чем листья компенсируют недостаток воды за счет водных запасов стебля и корня. У устойчивых к засухе растений наблюдается более интенсивный водообмен между органами и окружающим раствором, чем у незакаленных. В периоды засухи происходит снижение продуктивности растений в зависимости от фазы развития. Следует принимать во внимание биологическую природу критического периода, так как засуха может принести большой ущерб, если период засухи совпадает с критическим периодом растений. По отношению к недостатку воды в почве критический период у разных видов растений приходится на определенные стадии развития и часто не совпадает. Если рассматривать растение в целом, то критический период начинается во время третьей стадии развития главного стебля и заканчивается после оплодотворения на побегах кушения. Злаковые виды больше всего повреждаются при засухе в период формирования репродуктивных органов с момента формирования клеток пыльцы и заканчивая цветением и оплодотворением. То есть при недостатке воды в почве в определенные периоды онтогенеза в первую очередь сильно повреждается пыльца растений. Она запаздывает в своем развитии, становится маложизненной или стерильной, нарушает нормальный ход развития процесса. Важно отметить, что меньше повреждается при непродолжительной засухе пестик, так как он лучше защищен покровами от внешних воздействий. Однако длительные засухи также способны вызвать его серьезные повреждения, нарушения процессов деления клеток и их ядер. При засухе наблюдается снижение общего количества воды как в листьях, так и в колосе. Это снижение меньше у более устойчивых (обладающих высокой водоудерживающей способностью) к недостатку воды видов. Вместе с этим возрастает вязкость плазмы. Недостаток воды в растениях ведет к повреждению тканей, питающих формирующиеся репродуктивные органы, а высокая вязкость плазмы затрудняет ход деления клеток при образовании пыльцы и зародышевого мешка. Все это приводит к повреждениям тканей, нарушает приток воды и питательных веществ в формирующиеся репродуктивные органы.

Транспирации свойственно изменение интенсивности, и это связано с тем, что содержание воды в растении изменчиво и непрерывно. Исследованиями установлено, что интенсивность транспирации у изучаемых видов в течение суток различна и достигает максимума до полудня, а после этого времени вновь нарастает [5]. Так, у *Bromus inermis* L. и *Agropyrum Gaertn.* она, достигая утром 1,41–1,42 г/дм²-ч, к 20.00 снижается до 0,77–0,83 г/дм²-ч (см. рис.).

Основное проявление повреждающего действия сильной продолжительной засухи заключается в торможении новообразования белков. При недостатке воды у растений

подавляется фотосинтез, так как над синтезом преобладает гидролиз, питательные вещества все больше расходуются в усиливающемся процессе дыхания без их пополнения. Аминокислоты (аланин, валин и др.) являются активными участниками метаболизма и играют защитную роль как вещества, обладающие гидрофильностью. Так, роль аланина состоит в стимулировании синтеза хлорофилла, регуляции открытия устьиц и повышении устойчивости к суховеям и засухе. Пролин регулирует водный обмен, повышает сопротивляемость осмотическим стрессам, способствует открытию устьиц, повышает содержание хлорофилла, улучшает генеративное развитие растений, усиливает прорастание семян и прочее.

В начале засушливого периода при нарастании засухи способность клеток растений удерживать воду повышается. Но только до достижения критического порога. Переход напряженности факторов за пределы критического порога чувствительности клеток вызывает падение их водоудерживающей способности, после чего растения теряют способность регулировать процессы отдачи воды и их ткани подвергаются обезвоживанию, что ведет к длительным и глубоким депрессиям в ассимиляционной деятельности листового аппарата. Затем следует подавление процесса дыхания. Чувствительность клеток к нагреву увеличивается, и растения на какое-то время теряют возможность использования защитных реакций и повреждаются. Снимают

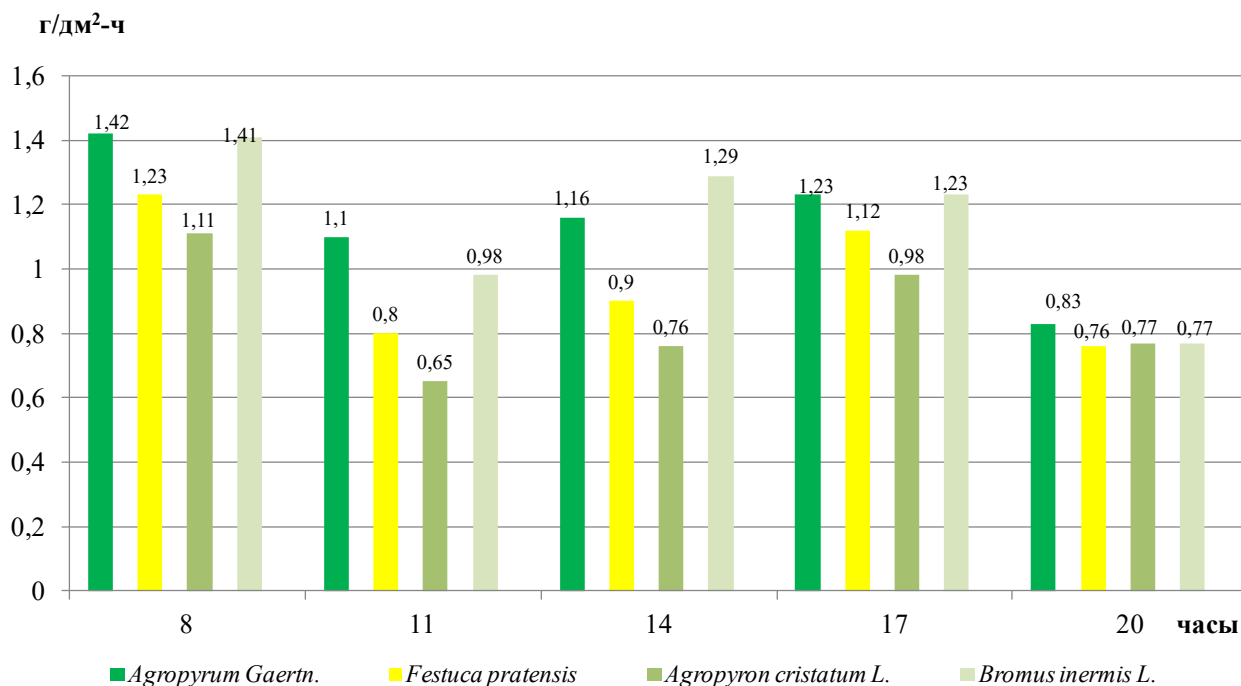


Рис. Интенсивность транспирации ($г/дм^2-ч$) трав семейства Poaceae

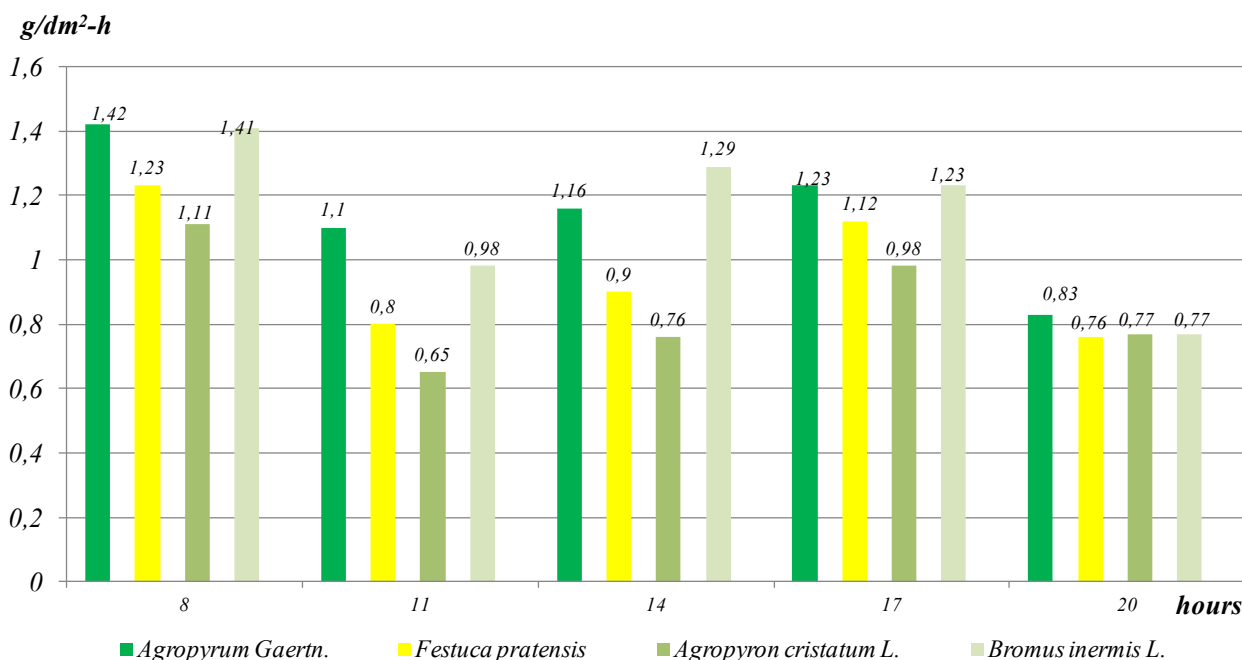


Fig. Intensity of transpiration (g/dm^2-h) of herbs from the family Poaceae

Общая водоудерживающая способность многолетних трав семейства *Poaceae*

Вид растения	Потеря воды, %				Общая потеря воды, %	Водоудерживающая способность, %
	Через 30 мин.	Через 60 мин.	Через 90 мин.	Через 120 мин.		
<i>Bromus inermis L.</i>	4,8	3,9	2,4	1,1	12,2	87,8
<i>Agropyrum Gaertn.</i>	5,3	3,7	2,1	1,8	12,9	87,1
<i>Agropyron cristatum L.</i>	4,6	4,3	2,9	1,2	13,0	87,0
<i>Festuca pratensis</i>	6	5,1	3,2	3,6	17,9	82,1

Table

The total water holding capacity of perennial grasses of the family *Poaceae*

Type of plant	Water loss, %				Total water loss, %	Water retention capacity, %
	After 30 minutes	After 60 minutes	After 90 minutes	After 120 minutes		
<i>Bromus inermis L.</i>	4.8	3.9	2.4	1.1	12.2	87.8
<i>Agropyrum Gaertn.</i>	5.3	3.7	2.1	1.8	12.9	87.1
<i>Agropyron cristatum L.</i>	4.6	4.3	2.9	1.2	13.0	87.0
<i>Festuca pratensis</i>	6	5.1	3.2	3.6	17.9	82.1

депрессивное влияние засухи орошение или атмосферные осадки. Но первая реакция растений, подвергшихся засухе и потерявших способность прочно удерживать воду, на поступление воды – это повышение водоудерживающей способности. Лишь через несколько суток после поступления воды в ткани растение сможет легко отдавать воду. Свойство клеток изменять водоудерживающую способность можно рассматривать не только как адаптивную функцию в изменяющихся условиях внешней среды, но и как динамический процесс, который характеризует естественный ход метаболизма клеток и тканей в онтогенезе.

Повышение водоудерживающей способности клеток сопровождается ускорением процесса поглощения тканями кислорода. При небольшой разнице в интенсивности дыхания до и после засухи клетки частично теряют водоудерживающую способность. При повышении интенсивности дыхания повышается и водоудерживающая способность тканей. Виды с высокой водоудерживающей способностью могут приспосабливаться к неблагоприятным условиям среды, адаптируясь к ним. Чем выше эта способность, тем выше устойчивость вида. Водоудерживающая способность видов усиливается при оптимальных условиях роста и развития.

При определении водоудерживающей способности видов семейства *Poaceae* по методу Арланда установлено, что все виды наибольшее количество воды теряют в первые полчаса (до 6,0 %) (см. таблицу). Через 60 минут потери воды составляют (3,7–5,1 %). Общая потеря воды для разных видов семейства *Poaceae* составляет: для *Bromus inermis L.* – 12,2 %, *Agropyrum Gaertn.* – 12,9 %, *Agropyron cristatum L.* – 13,0 %, *Festuca pratensis* – 17,9 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Все жизненные процессы протекают в любом растении нормально только при достаточном количестве воды, когда растительная клетка находится в тургорном состоянии и в протоплазме поддерживаются необходимая интенсивность и направленность процессов обмена веществ. Атмосферная засуха изменяет водообмен растений, вызывает повышение интенсивности транспирации. Установлено, что показатели интенсивности транспирации у видов семейства *Poaceae* обычно достигают максимума до высоких полуденных температур. Наибольшие показатели выявлены у *Bromus inermis L.* и *Agropyrum Gaertn.* (1,41–1,42 г/дм²-ч). Способность видов семейства *Poaceae* менять жизненное состояние помогает им выживать в неблагоприятных условиях. Травы семейства *Poaceae* обладают высоким потенциалом устойчивости к засухе. Их водоудерживающая способность составляет: у *Bromus inermis L.* – 87,8 %, у *Agropyrum Gaertn.* – 87,1 %, у *Agropyron cristatum L.* – 87,0 %, у *Festuca pratensis* – 82,1 %. Водоудерживающая способность растений как адаптивное свойство усиливается при нарастающей напряженности засух и суховеев. Но за пределами порога чувствительности клетки к повреждающему фактору она падает. При этом теряется устойчивость клеток, повреждаются ткани. Но эти нарушения обратимы. При восстановлении водного режима происходит регенерация способностей. Таким образом, используя защитные механизмы, растения предохраняют свои органы от гибели. Снимают депрессивное влияние засух и способствуют повышению продуктивности растений орошение и мелиорация.

Библиографический список

1. Амелин А. В., Чекалин Е. И., Заикин В. В., Сальникова Н. Б. Интенсивность фотосинтеза и транспирации листьев у растений *Glucine Max (L.) Merr.* // Вестник аграрной науки. 2017. № 6 (69). С. 3–8.
2. Власенко М. В. Транспирация многолетних кормовых видов в условиях засушливой среды // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2017. № 4 (44). С. 16–24.
3. Козырева Л. В., Максенкова И. Л., Доброхотов А. В. Экспериментальные исследования устьичной регуляции транспирации с использованием данных автоматизированного мобильного полевого агрометеорологического комплекса // Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего: материалы Международной научной конференции, посвященной 85-летию Агрофизического НИИ. Санкт-Петербург, 2017. С. 791–796.
4. Нестерова Н. В. Транспирация растений в бассейнах рек Вологодской области // Молодые исследователи – регионам: материалы Международной научной конференции. Вологда, 2018. С. 527–528.
5. Савко Т. Д., Потапкина К. Е., Пиврик К. И., Токмакова Т. Н. Влияние факторов окружающей среды на испарение (транспирацию) воды листьями растений // XXII Международный Биос-форум. Санкт-Петербург, 2017. С. 300–303.
6. Аркинчев Д. В., Гольдварг Б. А., Цаган-Манджиев Н. Л., Шамсутдинов Н. З. Особенности транспирации фитомелиоранта терескена серого в Российском Прикаспии // Сельскохозяйственный журнал. 2018. Т. 4. № 11. С. 11–17.
7. Ахматов М. К. Дневной расход воды на транспирацию целым древесным растением // *Universum: химия и биология*. 2016. № 8 (26). С. 8.
8. Позднякова А. В., Магомедтагиров А. А. Транспирация, ее биологическое значение и регулирование растениями // Научное сообщество студентов. Междисциплинарные исследования: электронный сборник статей по материалам XLIX студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск: Сибирская академическая книга, 2018. С. 26–30.
9. Pakshina S. M., Belous N. M., Smolsky E. V., Silaev A.L. Influences of technologies of cultivation of perennial bluegrass herbs on their transpiration in the conditions of water meadows // *Biosystems Diversity*. 2017. Т. 25. No. 1. Pp. 9–15.
10. Pakshina S. M., Belous N. M., Shapovalov V. F., Chesalin S. F., Smolsky E. V., Silaev A. L. Calculation of 137CS accumulation by phytomass of motley herbs // *International Journal of Green Pharmacy*. 2018. Т. 12. No. 3. Pp. 704–711.
11. Ort D. R., Merchant S. S., Alric J., Barkan A. [et al.] Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bio-energy demand // *PNAS*. 2015. V. 112. No. 28. Pp. 8529–8536.
12. Власенко М. В. Видовое разнообразие и устойчивость фитоценозов песчаных пастбищ Ростовской области // *Аграрная Россия*. 2019. № 3. С. 17–21.
13. Пакшина С. М., Малявко Г. П., Белоус И. Н., Колыхалина А. Е. Минеральные удобрения, эвапотранспирация, и транспирация посевов озимой ржи // *Агроконсультант*. 2017. № 3. С. 17–21.
14. Турко С. Ю., Власенко М. В., Кулик А. К. Математическое описание процессов роста и урожайности кормовых культур в аридных условиях // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (38). С. 18–22.
15. Худоевбеков Ф. Н., Сафаралихонов А. Б., Акназаров О. А. Динамика роста и интенсивность транспирации у растений, выращенных на разных высотах западного Памира // *Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук*. 2016. № 3 (194). С. 41–46.
16. Пакшина С. М., Малявко Г. П., Белоус И. Н., Колыхалина А. Е. Влияние минеральных удобрений на эвапотранспирацию и транспирацию посевов озимой ржи // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 3 (61). С. 19–24.
17. Coupel-Ledru A., Lebon E., Christophe A., Gallo A., Gago P., Pantin F., Doligez A. Thierry Simonneau Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine // *PNAS*. Vol. 9. 2016. 113 (32). Pp. 8963–8968.

Об авторах:

М. В. Власенко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии агроландшафтов и адаптивного природопользования, ORCID 0000-0002-6356-2225, AuthorID 289179, +7 927 500-53-59, vlasencomarina@mail.ru

К. Ю. Трубакова^{1,2}, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной селекции, аспирант, ORCID 0000-0002-0528-3367, AuthorID 934885

¹ Федеральное научное учреждение агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

Water regime *Poaceae* family species in the drought conditions

M. V. Vlasenko¹, K. Yu. Trubakova^{1,2}

¹Federal Research Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forests of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

²Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

✉E-mail: vlasencomarina@mail.ru

Abstract. The purpose of the research is to consider the patterns of water regime of plants in dry conditions, depending on changes in environmental conditions and plant physiology. The objectives of the research included: identifying abilities of *Poaceae* family herbs (*Festuca pratensis*, *Bromus inermis* L., *Agropyron cristatum* L., *Agropyrum Gaertn.*) introduced into crops on the vegetation sites of the lysimetric complex of the Federal Science Center of Agroecology of the Russian Academy of Sciences (Volgograd) to sustainability in adverse environmental conditions. **Scientific novelty and practical significance.** The study contributes to the solution of issues of effective prediction of the productivity of forage grasses, since water-regime patterns of growth and development of vegetation must be taken into account when developing optimal growing methods. **Methods.** The determination of the water-holding capacity of herbs was carried out according to the Arlanda method and is based on taking into account the water loss by plants. The intensity of transpiration was determined by the method of fast weighing the selected sheet of L. A. Ivanov. A description of the mechanism of water retention by plants with an increase in drought is given. **Results.** As a result, it has been established that perennial grasses of the family *Poaceae* have a high potential for resistance to soil and atmospheric drought. The largest water retention capacity is: *Bromus inermis* L. (87.8%), *Agropyrum Gaertn.* (87.1 %) and *Agropyron cristatum* L. (87.0 %). The ability to change water retention capacity can be viewed not only as an adaptive function in changing environmental conditions, but also as a dynamic process that characterizes the natural course of the metabolism of cells and tissues during ontogenesis. Indicators of transpiration intensity in species of the *Poaceae* family usually reach a maximum up to high midday temperatures. The highest rates were found in *Bromus inermis* L. and *Agropyrum Gaertn.*, for which in the morning they reached 1.41–1.42 g/dm²-h.

Keywords: development phase, water regime, transpiration intensity, water holding capacity, drought.

For citation: Vlasenko M. V., Trubakova K. Yu. Vodnyy rezhim vidov semeystva *Poaceae* v usloviyakh zasukhi [Water regime *Poaceae* family species in the drought conditions] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 11 (191). Pp. 2–8. DOI: 10.32417/article_5dcd861e230788.72509133. (In Russian.)

Paper submitted: 19.07.2019.

References

1. Amelin A. V., Chekalin E. I., Zaikin V. V., Salnikova N. B. Intensivnost' fotosinteza i transpiratsii listyev u rasteniy *Glycine Max* (L.) Merr. [Intensity of photosynthesis and leaf transpiration in plants *Glycine Max* (L.) Merr.] // Vestnik agrarnoy nauki. 2017. No. 6 (69). Pp. 3–8. (In Russian.)
2. Vlasenko M. V. Transpiratsiya mnogoletnikh kormovykh vidov v usloviyakh zasushlivoy sredy [Transpiration of perennial forage species in a dry environment] // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. No. 4 (44). Pp. 16–24. (In Russian.)
3. Kozyreva, L. V., Maksenkova, I. L., Dobrokhotov, A. V. Eksperimentalnyye issledovaniya ustichnoy regulyatsii transpiratsii s ispolzovaniyem dannykh avtomatizirovannogo mobilnogo polevogo agrometeorologicheskogo kompleksa [Experimental studies of stomatal regulation of transpiration using data from an automated mobile field agrometeorological complex] // Tendentsii razvitiya agrofiziki: ot aktualnykh problem zemledeliya i rasteniyevodstva k tekhnologiyam budushchego: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu Agrofizicheskogo NII. Saint Petersburg, 2017. Pp. 791–796. (In Russian.)
4. Nesterova N. V. Transpiratsiya rasteniy v basseynakh rek Vologodskoy oblasti [Plant transpiration in the river basins of the Vologda region] // Molodyye issledovateli – regionam: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Vologda, 2018. Pp. 527–528. (In Russian.)
5. Savko T. D., Potapkina K. E., Pivrik K. I., Tokmakova T. N. Vliyaniye faktorov okruzhayushchey sredy na ispareniye (transpiratsiyu) vody listiami rasteniy [The influence of environmental factors on the evaporation (transpiration) of water by plant leaves] // XXII Mezhdunarodnyy Bios-forum. Saint Petersburg, 2017. Pp. 300–303. (In Russian.)
6. Arkincheev D. V., Goldvarg B. A., Tsagan-Mandzhiev N. L., Shamsutdinov N. Z. Osobennosti transpiratsii fitomelioranta tereskena serogo v Rossiyskom Prikaspii [Specifics of teresken phytomelioran transpiration in the Russian Pre-Caspian Sea] // Agricultural Journal. 2018. Vol. 4. No. 11. Pp. 11–17. (In Russian.)
7. Akhmatov M. K. Dnevnoy raskhod vody na transpiratsiyu tselym drevesnym rasteniyem [Daily water consumption for transpiration by whole woody plants] // Universum: chemistry and biology. 2016. No. 8 (26). Pp. 8. (In Russian.)
8. Pozdnyakova A. V., Magomedtagirov A. A. Transpiratsiya, ee biologicheskoye znachenie i regulirovaniye rasteniyami [Transpiration, its biological significance and plant regulation] // Nauchnoye soobshchestvo studentov. Mezhdistsiplinarnyye

issledovaniya: elektronnyy sbornik statey po materialam XLIX studencheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Novosibirsk, 2018. Pp. 26–30. (In Russian.)

9. Pakshina S. M., Belous N. M., Smolsky E. V., Silaev A. L. Influences of technologies of cultivation of perennial bluegrass herbs on their transpiration in the conditions of water meadows // *Biosystems Diversity*. 2017. T. 25. No. 1. Pp. 9–15.

10. Pakshina S. M., Belous N. M., Shapovalov V. F., Chesalin S. F., Smolsky E. V., Silaev A. L. Calculation of ¹³⁷CS accumulation by phytomass of motley herbs // *International Journal of Green Pharmacy*. 2018. T. 12. No. 3. Pp. 704–711.

11. Ort D. R., Merchant S. S., Alric J., Barkan A. [et al.] Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand // *PNAS*. 2015. V. 112. No. 28. Pp. 8529–8536.

12. Vlasenko M. V. Vidovoye raznoobraziye i ustoychivost fitotsenozov peschanykh pastbishch Rostovskoy oblasti // *Agrarnaya Rossiya*. 2019. No. 3. Pp. 17–21. (In Russian.)

13. Pakshina S. M., Malyavko G. P., Belous I. N., Kolykhalin A. E. Mineralnyye udobreniya. evapotranspiratsiya. i transpiratsiya posevov ozimoy rzhi [Mineral fertilizers, evapotranspiration, and transpiration of winter rye crops] // *Agrokonsul'tant*. 2017. No. 3 (2017). Pp. 17–21. (In Russian.)

14. Turko S. Yu., Vlasenko M. V., Kulik A. K. Matematicheskoye opisaniye protsessov rosta i urozhaynosti kormovykh kultur v aridnykh usloviyakh [Mathematical description of the processes of growth and productivity of forage crops in arid conditions] // *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. No. 2 (38). Pp. 18–22. (In Russian.)

15. Khudoyerbekov F. N., Safaralikhonov A. B., Aknazarov O. A. Dinamika rosta i intensivnost transpiratsii u rasteniy, vyrashchennykh na raznykh vysotakh zapadnogo Pamira [Growth dynamics and intensity of transpiration in plants grown at different heights of the western Pamira] // *News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Biological and Medical Sciences*. 2016. No. 3 (194). Pp. 41–46. (In Russian.)

16. Pakshina S. M., Malyavko G. P., Belous I. N., Kolykhalin A. E. Vliyaniye mineralnykh udobreniy na evapotranspiratsiyu i transpiratsiyu posevov ozimoy rzhi [Influence of mineral fertilizers on evapotranspiration and transpiration of winter rye crops] // *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2017. No. 3 (61). Pp. 19–24. (In Russian.)

17. Coupel-Ledru A., Lebon E., Christophe A., Gallo A., Gago P., Pantin F., Doligez A. Thierry Simonneau Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine // *PNAS*. Vol. 9. 2016. 113 (32). Pp. 8963–8968.

Authors' information:

Marina V. Vlasenko¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher of laboratories of the hydrology of agroforestry landscapes and adaptive nature management, ORCID 0000-0002-6356-2225, AuthorID 289179, +7 927 500-53-59, vlasenco-marina@mail.ru

Karina Yu. Trubakova^{1,2}, junior researcher of the laboratory of molecular selection, postgraduate

¹ Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Forests of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russia

² Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia