АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 4 (93), с. 37-45

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 631.432

ТИПЫ ВОДНОГО РЕЖИМА ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ РЕКИ ДОН

© 2022 г. А.К. Кулик, Р.Н. Балкушкин

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
Россия, 400062, г. Волгоград, Университетский просп., д. 97
E-mail: kulika@vfanc.ru, balkushkin_r@vfanc.ru

Поступила в редакцию 01.04.2022. После доработки 30.06.2022. Принята к публикации 01.07.2022.

В условиях засушливого климата и недостаточного количества влаги для растений актуальность приобретают вопросы, связанные с изучением почвенно-гидрологических особенностей песчаных массивов. Цель исследований – изучение типов водного режима песчаных массивов реки Дон. В период с 2003 по 2021 гг. на территории песчаных массивов реки и ее притоков были проведены маршрутные и стационарные (закладка водно-режимных площадок) исследования. Лабораторные работы проводились на гидрологическом комплексе ФНЦ агроэкологии РАН, включающем 8 крупногабаритных лизиметров и 18 вегетационных площадок. За год инфильтрация на открытых песках составляет в среднем 70% от общей суммы выпавших осадков. Наибольший сток к грунтовым водам отмечается на песчаных массивах Верхнего Дона. По данным лизиметрических исследований, среднегодовая интенсивность внутрипочвенного стока в условиях чистого пара максимальна на песчаных почвогрунтах и составляет в среднем 0.73 мм/сут., на супеси – 0.65 мм/сут., на легком суглинке – 0.37 мм/сут. При этом во второй половине года супесчаные почвы способны сбрасывать в грунтовые воды большее количество воды, чем песчаные и суглинистые почвы. Непромывной тип водного режима в большинстве случаев наблюдается на третьей террасе песчаных массивов с глубоким залегание грунтовых вод (> 8 м) и более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами. На участках с корнедоступной для древостоя грунтовой водой наблюдается суточная пульсация с общим снижением уровня, поскольку ночное поступление воды не компенсирует транспирационный расход. Сезонные колебания уровня грунтовых вод на Придонских песках в среднем составляют 40-60 см, но могут достигать 90 см.

Ключевые слова: песчаные массивы, водный режим, почвенно-гидрологические константы, внутрипочвенный сток, лизиметры.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-4-37-45
EDN: VVRFAS

В условиях засушливого климата и недостаточного увлажнения территории наиболее актуальными становятся вопросы изучения водного режима почв, формирующегося под влиянием ряда факторов: рельефа, климата, гидрофизических свойств почв, хозяйственной деятельности человека и других. Совокупность процессов поступления, передвижения и расходования влаги является важным аспектом в жизнедеятельности растений, почвенной фауны и микроорганизмов. Интенсивность химических, биологических и физических процессов напрямую зависит от содержания влаги в почве, влияющей на формирование различных почвенных структур, водно-воздушного, питательного, теплового режимов почвы, что в итоге сказывается на ее плодородии и продуктивности фитоценозов.

Песчаные массивы реки Дон и его притоков представляют собой приречные террасовые азональные образования со специфическим рельефом и почвенно-растительным покровом. На территории России они занимают площадь свыше 1 млн. га. Почвы песчаных массивов легко подвержены дефляции, поэтому любая хозяйственная деятельность должна осуществляться с учетом противодефляционной защиты и рационального агролесомелиоративного планирования, которое во многом основывается на почвенно-гидрологических исследованиях. Работы по изучению

гидрологической роли песчаных массивов активно проводились советскими и российскими учеными. Огромный вклад в развитие сельскохозяйственной науки по данному направлению внес А.Г. Гаель (1978; Гаель, Смирнова, 1999), который проводил комплексные экспедиционные исследования на обширных пространствах распространения песков южной и средней полосы Европейской части СССР и Сибири. В.А. Дубянский (1949) и А.Д. Гожев (1929) рассмотрели водные и лесорастительные свойства песчаных почв Среднего Дона, а А.Т Михеев (1938) – Нижнего Дона. Изучением общих изменений влагозапасов в Придонских песках занимались В.В. Миронов (1970) и А.Е. Иванов с соавторами (1955). Более подробно водный режим и динамику уровня грунтовых вод под лесными массивами изучали А.А. Молчанов (1952) и Н.С. Зюзь (1990). Работы Н.А. Воронкова (1963) и П.М. Светлищева (1964) посвящены водному режиму и балансу влаги песчаных почв степной зоны Европейской территории бывшего Советского Союза. Фундаментальные исследования в области водного режима песков аридной зоны и изучения механизма пространственной миграции влаги под действием разности температур были осуществлены Н.Ф. Куликом (1979, 1999). Проведенные исследования во многом опираются на теоретические основы движения почвенной влаги, которые были рассмотрены в других работах (Глобус, 1969; Долгов, 1948; Качинский, 1970; Нерпин, Чудновский, 1975; Роде, 1965; Судницин, 1964; Edlefsen, Anderson, 1943; Richards, 1931). На современном этапе изучаются вопросы комплексного освоения песчаных земель, закрепления песков, гидрологии почв и генезиса песчаных массивов (Кулик и др., 2012, 2015; Манаенков, 2018; Салугин, Кулик, 2017; Галанин, 2021; Huang, Hartemink, 2020; Luo et al., 2020). Особые природные условия Донских песков создают необходимость более подробного изучения почвенно-гидрологических особенностей. Основная цель исследований – изучение типов водного режима песчаных массивов реки Дон.

Материалы и методы

Полевые исследования проводились на территории песчаных массивов реки Дон и ее притоков с 2003 по 2021 гг. Были проведены маршрутные исследования с описанием природных условий и закладкой водно-режимных площадок (ВРП), которые располагались на различных типах песков. Морфологическое описание почвенных разрезов проводилось согласно «Полевому определителю почв России» (2008).

Лабораторные исследования проводились на гидрологическом комплексе ФНЦ агроэкологии РАН, включающем 8 крупногабаритных лизиметров (площадь – 6.3 м^2, мощность почвогрунта – 240 см, дренаж – около 100 см) и 18 вегетационных площадок. В подземной галерее осуществлялось ежедневное измерение объема внутрипочвенного стока. Лизиметры насыпные, заполненные однородным по гранулометрическому составу почвенным субстратом. Лизиметры имеют песчаный, супесчаный и легко суглинистый гранулометрический состав.

Результаты и обсуждение

На формирование того или иного типа водного режима влияют гранулометрический состав почвы, количество атмосферных осадков, состояние растительного покрова, глубина залегания грунтовых вод, деятельность человека (Кулик и др., 2021). В условиях песчаных массивов реки Дон сочетание этих факторов обуславливает формирование промывного, периодически непромывного и промывного, непромывного, выпотного, десуктивно-выпотного типов водного режима.

Для подробного изучения водного режима песчаных массивов необходимо иметь представление об основных гидрофизических свойствах почв. Гранулометрический состав, являющийся базовой почвенной характеристикой, напрямую влияет на механизмы удержания и передвижения воды. Почвы песчаных массивов реки Дон в основном песчаные мелко-тонкозернистые: в них преобладает фракция 0.05-0.25 мм (50-70%). Местами по отдельным массивам и террасам могут наблюдаться некоторые различия в соотношении фракций почвенных частиц или утяжеление гранулометрического состава до супесчаного или суглинистого. Рельеф, подстилающие породы, растительность, режим увлажнения, антропогенное воздействие являются факторами, влияющими на формирование различных типов и подтипов почв песчаных массивов, на которых наблюдаются свои особенности передвижения почвенной влаги. Наибольшее содержание физической глины отмечается в почвах на высоких террасах при их переходе в приводосборный склон, а также в почвах древних

водотоков и в гидроморфных почвах микропонижений и заливных лугов. На неперевеянных или древнеперевеянных участках надпойменных террас встречаются почвы супесчаные. Современный эоловый нанос имеет, как правило, песчаный состав, однако может изменяться в зависимости от почв, подвергшихся дефляции.

Количественные и качественные изменения содержания и передвижения почвенной влаги можно свести к основным почвенно-гидрологическим константам: максимальной гигроскопичности (МГ), влажности завядания (ВЗ), влажности разрыва капилляров (ВРК), наименьшей влагоемкости (НВ), полной влагоемкости (ПВ). В отношении почвенно-гидрологических констант наблюдается одна и та же закономерность: увеличение значений при переходе от легких к тяжелым по гранулометрическому составу почвам. МГ безгумусного перевеянного песка не превышает 0.2-0.3%. В супесчаных почвах эта величина достигает 2-2.5%, в суглинистых – 4-4.5%. ВЗ в гумусовых горизонтах изменяется от 1.4% на песчаных почвах до 6% в суглинистых, в материнской песчаной породе – от 0.7 до 1.8%. Из-за слабого капиллярного переноса в песчаных почвах в указанном диапазоне ВРК приближается к значениям НВ (Кулик, 1979). В среднем НВ в гумусовом горизонте песчаных почв составляет 5-6% и снижается в песчаной материнской породе до 3.5-4%. В почвенных горизонтах, содержащих псевдофибры, НВ увеличивается на 1-1.5%.

Меридиональная протяженность Донских песков составляет свыше 450 км. Это обуславливает разность климатических условий, в том числе количество выпадающих осадков (рис. 1). Среднегодовое количество осадков района исследований колеблется в пределах 390-600 мм. Наибольшее количество наблюдается в самой северной точке, в г. Воронеж (594 мм), наименьшее – в восточной части, в г. Калаче-на-Дону (398 мм; Специализированные …., 2022). Вследствие уменьшения количества осадков все статьи водного баланса пропорционально сокращаются.

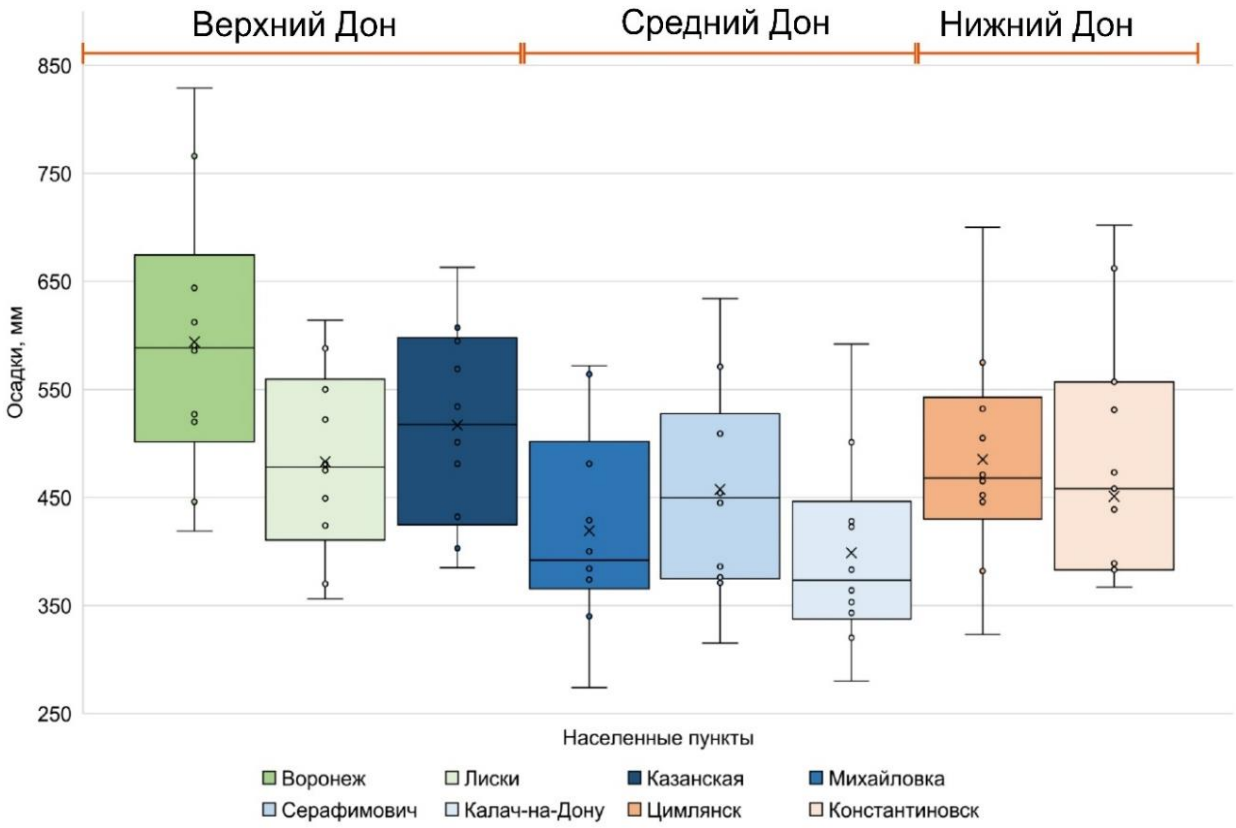

Рис. 1. Атмосферные осадки за 2012-2021 гг.

Горизонтальные осадки (туман и изморозь) и конденсация атмосферной влаги в виде росы в регионе исследования в общем годовом водном балансе почв играют незначительную роль. Их суммарная величина в отдельные годы не превышает 15 мм (Кулик, 1979).

При условии ежегодного сквозного промачивания почвенного профиля формируется промывной тип водного режима. Такие условия, как правило, создаются на открытых песках и песчаных почвах (светлогумусовых, псаммоземах гумусовых и др.). Наибольший транзит атмосферных осадков к грунтовым водам отмечается на открытых и слабозаросших песках, которые присутствуют на всех песчаных массивах реки Дон. За год на открытых песках инфильтрация составляет в среднем 70% (50-85%) от общей суммы выпавших осадков (Манаенков, 2018). При этом из-за разной обеспеченности влагой максимальный сток в грунтовые воды отмечается на песчаных массивах Верхнего Дона. При сравнительно низком количестве атмосферных осадков на песках Среднего Дона также фиксируется значительный внутрипочвенный сток. Так, согласно проведенным в 2018-2019 гг. на территории Калачевско-Голубинского песчаного массива водно-балансовым исследованиям, на бугристых открытых и слабозаросших песках, занимающих площадь около 4200 га, к грунтовым водам поступило свыше 6.5 млн. м^3 воды (Кулик и др., 2020). Открытые пески способны поддерживать круглогодичное пополнение грунтовых вод, хотя интенсивность и объем стока значительно сокращаются по сравнению с весенними показателями.

Интенсивность внутрипочвенного стока имеет ярко выраженную сезонность. Она максимальна в марте-апреле, что совпадает с периодом снеготаяния. В отдельные годы может фиксироваться еще один максимум, связанный с интенсивным выпадением атмосферных осадков в мае-июне. В следующие месяцы наблюдается постепенное уменьшение скорости стока, что подтверждается лабораторными лизиметрическими исследованиями и снижением дебета родникового стока.

На лизиметрах среднегодовая интенсивность внутрипочвенного стока в условиях чистого пара максимальна на песчаных почвогрунтах и составляет в среднем 0.73 мм/сут., на супеси – 0.65 мм/сут., на легком суглинке – 0.37 мм/сут. (рис. 2). В весеннее или раннелетнее время сток на песчаных почвогрунтах составляет в среднем 5.8 мм/сут., в отдельные годы превышает 10 мм/сут., на супеси и суглинке – около 3.2 мм/сут. По мере иссушения почвогрунта и наступления периода гидротермической напряженности скорость внутрипочвенного стока сокращается, достигая минимальных значений на суглинистых почвах, где сток может и вовсе прекратиться из-за больших потерь на испарение. На песках, не обладающих такой капиллярной сплошностью, как суглинки, минимальная скорость стока в течение года несколько выше. Супесчаные почвы имеют влагопроводность больше, чем суглинистые, и влагоемкость больше, чем песчаные (Роде, 1965). После весеннего снеготаяния скорость внутрипочвенного стока на супесчаном почвогрунте меньше, чем на песке. Однако к маю или к июлю, в случае выпадения в начале лета большого количества атмосферных осадков, наибольший сток отмечается на супеси. В среднем в течение года на супеси скорость внутрипочвенного стока снижается до 0.14 мм/сут. (на песке – 0.075 мм/сут., на суглинке – 0.026 мм/сут.). При такой интенсивности стока за сутки с 1 га к грунтовым водам стечет 1.4 м^3 воды. Таким образом, во второй половине года в условиях пара супесчаные почвы способны сбрасывать в грунтовые воды большее количество воды, чем песчаные и суглинистые почвы. Такая влага доступна для растений, имеющих высокое проективное покрытие на супесчаных почвах, что вносит значительные изменения в структуру водного баланса территории.

Проективное покрытие слабозаросших песков составляет около 10%, на заросших достигает и превышает 80%. При этом продуктивность травянистых фитоценозов варьирует в широких пределах. На равнинных и склоновых, слабоувалистых песчаных и супесчаных отложения продуктивность в среднем находится в пределах 2.3-2.7 т/га, на заросших бугристо-холмистых песках – 2-2.3 т/га, на среднезаросших бугристых песках – 0.9-1.6 т/га, на слабозаросших – около 0.6 т/га, в луговом биотопе – до 5 т/га.

По мере зарастания песков объем стока сокращается за счет расхода воды на транспирацию. Однако промывной тип водного режима возможен также на заросших песках и сосновых насаждениях (десуктивно-промывной режим; рис. 3). Относительно легкий гранулометрический состав создает условия для полного промачивания почвенного профиля. Итоговый сток с участков с промывным типом водного режима обеспечивает стабильное меженное водопитание речных систем (Бородычев и др., 2018).

Вариабельность количества выпавших осадков создает условие для формирования периодически промывного и периодически непромывного типов водного режима. В отдельные годы количество осадков на территории, где наблюдается преимущественно промывной тип водного режима, может

быть недостаточным для промачивания всей зоны аэрации, и наоборот, осадков может выпасть значительно больше среднегодовой нормы, в результате чего атмосферная влага достигает грунтовых вод (рис. 4).

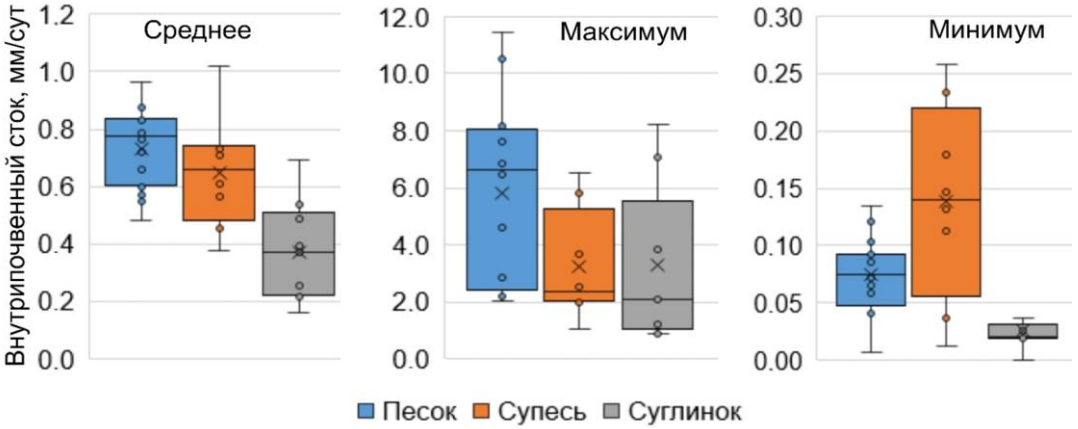

Рис. 2. Внутрипочвенный сток на лизиметрах.

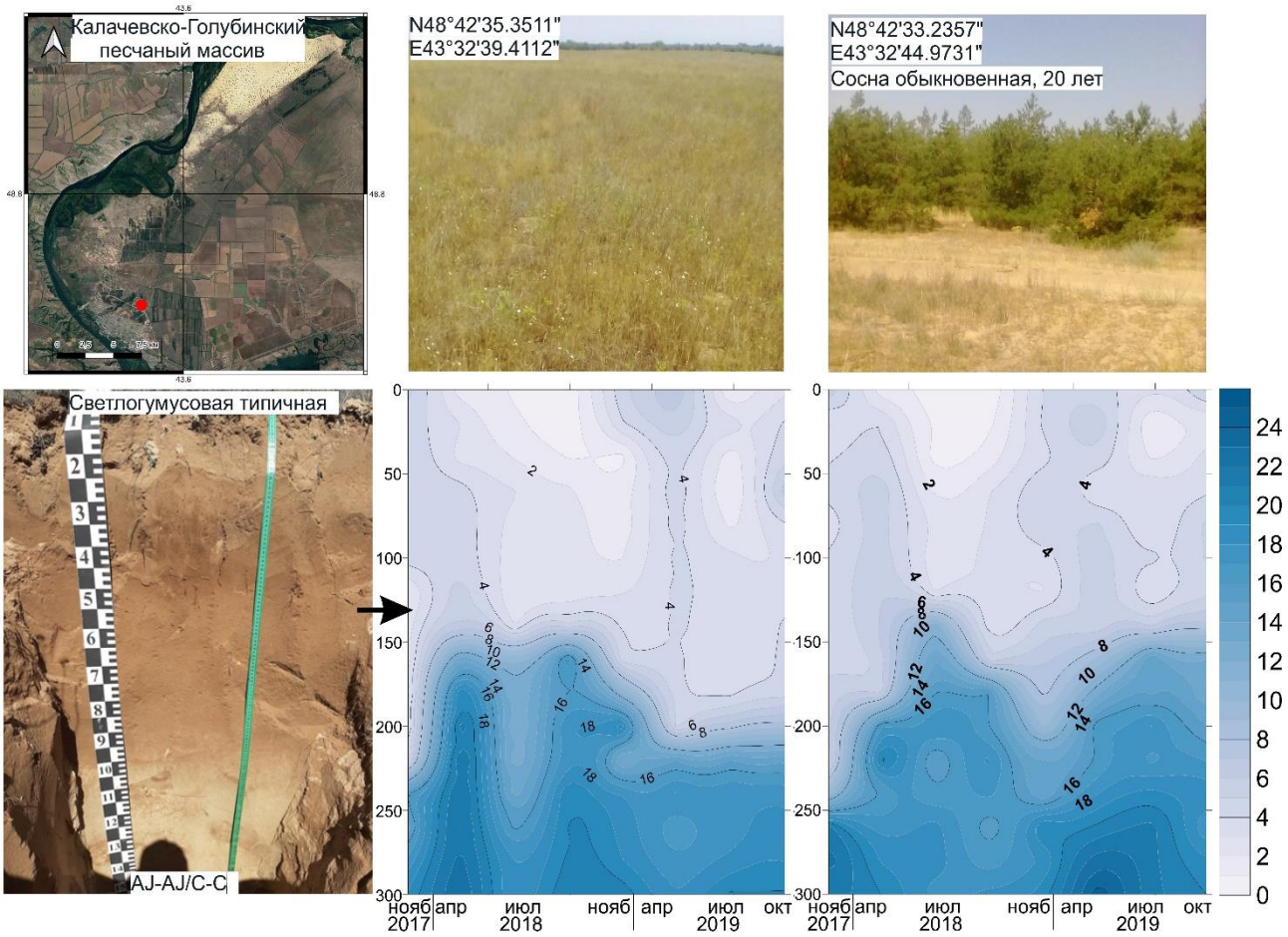

Рис. 3. Промывной тип водного режима на Калачевско-Голубинском песчаном массиве.

При непромывном водном режиме влага атмосферных осадков не достигает уровня грунтовых вод. Таким образом, на некоторой глубине мы обнаруживали импермацидный (сухой)

горизонт, с влажностью близкой к ВЗ. В большинстве случаев непромывной режим наблюдается на третьей террасе песчаных массивов с глубоким залеганием грунтовых вод и более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами. Третья терраса возвышается над уровнем Дона в среднем на 40-50 м, а грунтовые воды залегают на глубине свыше 8 м.

Выпотной тип водного режима характерен для участков с близким залеганием грунтовых вод. При этом капиллярная кайма выходит на дневную поверхность, на испарение расходуется влага осадков и части грунтовых вод. Если вода минерализована, то к поверхности подтягиваются водорастворимые соли. Зачастую весь почвенный профиль пропитан солями углекислого кальция, в результате чего начиная с поверхности почвы наблюдается бурное вскипание от HCI.

При десуктивно-выпотном типе водного режима капиллярная кайма не выходит на дневную поверхность, но в ее пределах находится корневая система растений. Таким образом, на физическое испарение расходуется только влага атмосферных осадков, а на транспирацию еще и грунтовые воды. Для участков, занятых древостоем, подразделение типов водного режима на десуктивно-промывной (атмосферная влага достигает грунтовых вод, которые используются деревьями) и десуктивно-непромывной (атмосферная влага не достигает грунтовых вод, но они являются дополнительным источником водопитания древостоя) вносит уточнение в условия увлажнения территории (Кулик, 1999).

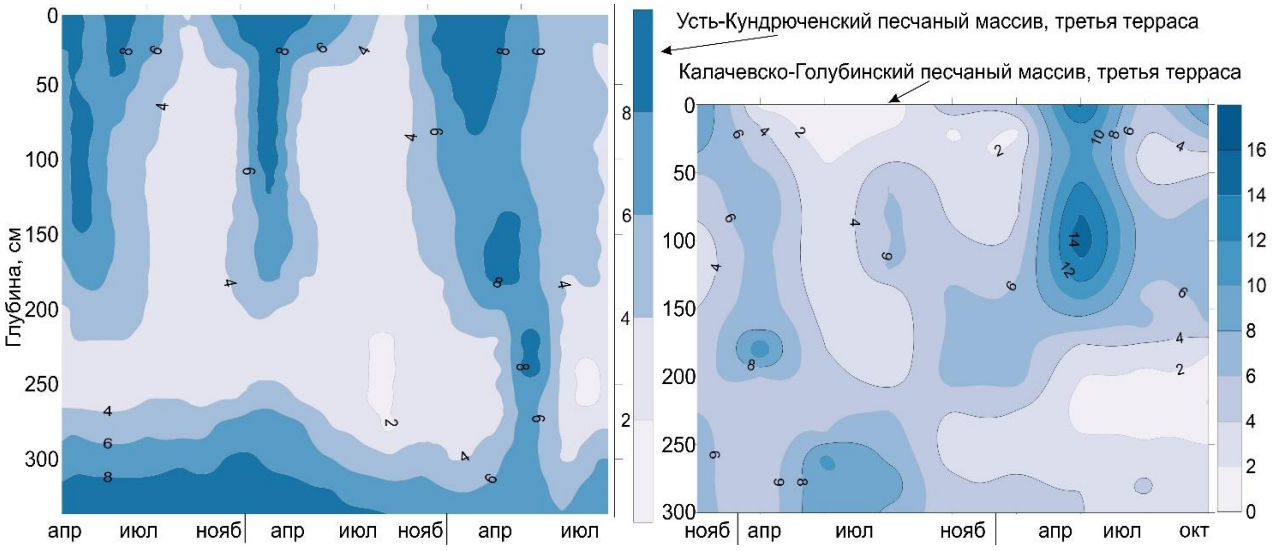

Рис. 4. Периодически промывной (слева) и периодически непромывной (справа) типы водного режима.

Грунтовые воды, используемые древостоем, имею особую сезонную и суточную динамику. В течение вегетационного периода на таких участках наблюдается так называемая суточная пульсация грунтовых вод. Данное явление мы фиксировали с помощью недельных самописцев. На песчаных почвах Усть-Кундрюченского песчаного массива в насаждениях сосны обыкновенной (50 лет) в августе суточная амплитуда уровня грунтовых вод составила 23 мм. В 9-10 часов начиналось снижение уровня грунтовых вод в результате транспирации, которое сменялось водоподъемом в 18-19 часов. Наблюдалось общее снижение уровня грунтовых вод, поскольку ночное поступление воды не компенсировало транспирационный расход (Кулик, 2005). На участках, где корневая система растений не достигает капиллярной каймы, также фиксируется снижение уровня грунтовых вод, однако пульсация отсутствует.

Сезонные колебания уровня грунтовых вод связаны с биологическими и климатическими факторами. На Придонских песках в высоко бонитетных хвойных древостоях амплитуда в среднем составляет 40-60 см, но может достигать 90 см в ольшаниках и дубняках.

На песчаных массивах Дона встречаются все рассмотренные типы водного режима. Их смену можно проследить, рассмотрев конкретный пример (рис. 5). Етеревский песчаный массив располагается в междуречье рек Медведицы и Тишанки (Средний Дон). Ввиду такого «островного»

положения внутригрунтовый подток со стороны водосбора почти отсутствует, поэтому главным источником питания грунтовых вод является инфильтрация атмосферных осадков. Стабильный приток воды с участков с промывным типом водного режима обеспечивает относительное постоянство уровня грунтовых вод.

В пределах древних ложбин стока, окаймляющих и прорезающих песчаный массив, формируются промывной, выпотной и десуктивно-выпотной типы водного режима. Уровень грунтовых вод по большей части составляет менее 1 м. Почвы – аллювиальные темногумусовые, как правило, тяжелого гранулометрического состава, в которых высота капиллярного поднятия превышает 1 м. Поэтому часть влаги на физическое испарение расходуется из грунтовых вод. Легкие почвы заросших полого-бугристых песков также имеют промывной тип водного режима. При этом сосновые насаждения используют грунтовые воды на транспирацию. На более возвышенных участках с глубиной залегания грунтовых вод 5-10 и 10-20 м наблюдается варьирование типа водного режима от периодически непромывного до непромывного в зависимости от состояния растительности и гранулометрического состава почв. Открытые и слабозаросшие пески, примыкающие к пойме, имеют промывной тип водного режима. Водный режим высокой и нижней поймы тесно связан с гидрологическим режимом реки Медведица.

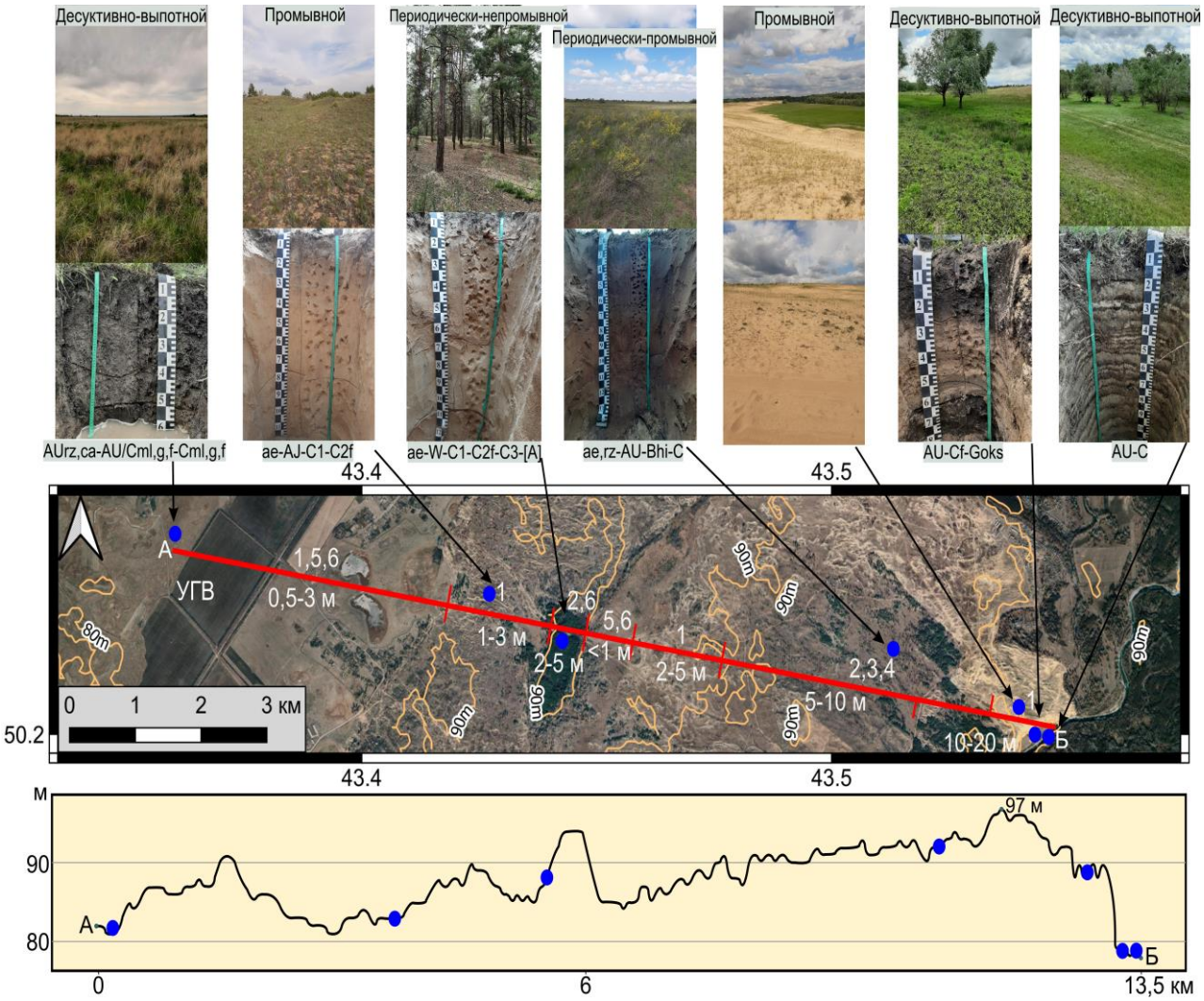

Рис. 5. Ландшафтный профиль Етеревского песчаного массива. *Условные обозначения.* Типы водного режима: 1 – промывной, 2 – периодически непромывной, 3 – периодически промывной, 4 – непромывной, 5 – выпотной, 6 – десуктивно-выпотной.

Выводы

Песчаные массивы реки Дон занимают площадь свыше 1 млн. га. На открытых песках и песчаных почвах создаются условия для полного промачивания почвенного профиля и формирования промывного типа водного режима. За год инфильтрация на открытых песках составляет в среднем 70% от общей суммы выпавших осадков. При этом из-за большей обеспеченности влагой атмосферных осадков максимальный сток к грунтовым водам отмечается на песчаных массивах Верхнего Дона.

По данным лизиметрических исследований, среднегодовая интенсивность внутрипочвенного стока в условиях чистого пара максимальна на песчаных почвогрунтах и составляет в среднем 0.73 мм/сут., на супеси – 0.65 мм/сут., на легком суглинке – 0.37 мм/сут. При этом во второй половине года супесчаные почвы способны сбрасывать в грунтовые воды большее количество воды, чем песчаные и суглинистые почвы

Вариабельность количества выпавших осадков создает условие для формирования периодически промывного и периодически непромывного типов водного режима. Непромывной тип в большинстве случаев наблюдается на третьей террасе песчаных массивов с глубоким залегание грунтовых вод (> 8 м) и более тяжелыми по гранулометрическому составу почвами.

Выпотной и десуктивно-выпотной типы водного режима характерны для участков с близким залеганием грунтовых вод. Капиллярная кайма выходит на дневную поверхность или достигает корневой зоны, на испарение и транспирацию расходуется влага осадков и части грунтовых вод. В течение вегетационного периода на таких участках наблюдается суточная пульсация грунтовых вод с общим снижением уровня, поскольку ночное поступление воды не компенсирует транспирационный расход. Сезонные колебания уровня грунтовых вод на Придонских песках в среднем составляют 40-60 см, но могут достигать 90 см.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания FNFE-2022-0011 «Разработка новой методологии оптимального управления биоресурсами в агроландшафтах засушливой зоны РФ с использованием системно-динамического моделирования почвенно-гидрологических процессов, комплексной оценки влияния климатических изменений и антропогенных нагрузок на агробиологический потенциал и лесорастительные условия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бородычев В.В., Кулик А.К., Кулик Н.Ф. 2018. Неистощительное водопитание и опреснение речных вод донского региона // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. № 3 (51). С. 26-34.

Воронков Н.А. 1963. Водный режим и некоторые особенности биологии сосновых насаждений на песках Среднего Дона. Автореф. дис. … канд. биол. наук. М. 25 с.

Гаель А.Г. 1978. «Извечно» развеваемые пески в Донских степях // Геоморфология. № 1. С. 36-46.

Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф. 1999. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС. 252 с.

Галанин А.А. 2021. Позднечетвертичные песчаные покровы Центральной Якутии (Восточная Сибирь): строение, фациальный состав и палеоэкологическое значение // Криосфера Земли. Т. 25. № 1. С. 3-34.

Глобус А.М. 1969. Экспериментальная гидрофизика почв. Л.: Гидрометеоиздат. 350 с.

Гожев А.Д. 1929. Типы песков области Среднего Дона и их хозяйственное использование // Труды по лесному опытному делу. М.: Сельхозгиз. 178 с.

Долгов С.И. 1948. Исследования подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. М.: АН СССР. 206 с.

Дубянский В.А. 1949. Пески Среднего Дона и использование их в сельском и лесном хозяйстве. М.: Сельхозгиз. 232 с.

Зюзь Н.С. 1990. Культуры сосны на песках Юго-Востока. М.: Агропромиздат. 155 с.

Иванов А.Е., Матюк И.С., Миронов В.В. 1955. Пески и их освоение. М.: Сельхозгиз. 254 с.

Качинский Н.А. 1970. Физика почвы. М.: Высшая школа. 358 с.

Кулик А.К. 2005. Водный режим и баланс влаги песчаных земель Нижнего Дона (на примере Усть-Кундрюченского песчаного массива). Автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Волгоград: ВНИАЛМИ. 25 с.

Кулик А.К., Кулик К.Н., Балкушкин Р.Н. 2020. Террасовые пески и их роль в водопитании рек бассейна Дона // Водные ресурсы. Т. 47. № 6. С. 742-754.

Кулик А.К., Кулик К.Н., Власенко М.В. 2021. Формирование водного режима на песках Арчединско-Донского массива в зависимости от распространения растительных формаций // Аридные экосистемы. Т. 27.

№ 4 (89). С. 50-58. [*A.K. Kulik, K.N. Kulik, M.V. Vlasenko, Yu.I. Sukhorukikh, S.G. Biganova*. 2021. Water-Regime Formation in Sands of the Archeda-Don Massif with Respect to the Distribution of Plant Formations // Arid Ecosystems. Vol. 11. No. 4. Pp. 358-366.]

Кулик К.Н, Кулик Н.Ф., Кулик А.К. 2012. Водный баланс почв песчаных массивов (на примере Усть-Кундрюченского массива, Ростовская область) // Почвоведение. № 8. С. 846-855.

Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. 2015. Геоинформационный анализ динамики опустынивания на территории Астраханской области // Аридные экосистемы. Т. 21. № 3 (64). С. 23-32. [*K.N. Kulik, A.S. Rulev, V.G. Yuferev*. 2015. Geoinformation Analysis of Desertification Dynamics in the Territory of Astrakhan Oblast // Arid Ecosystems. Vol. 5. No. 3. Pp. 134-141.]

Кулик Н.Ф. 1999. Водный режим лесных биогеоценозов. Новочеркасск: Новочеркасская государственная мелиоративная академия. 59 с.

Кулик Н.Ф. 1979. Водный режим песков аридной зоны. Ленинград: Гидрометеоиздат. 280 с.

Манаенков А.С. 2018. Лесомелиорация арен засушливой зоны. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН. 428 с.

Миронов В.В. 1970. Облесение песков Юго-Востока. М.: Лесная промышленность. 168 с.

Михеев А.Т. 1938. Пески и супеси Нижнего Дона и пути их освоения. Ростов-на-Дону. 135 с.

Молчанов А.А. 1952. Гидрологическая роль сосновых лесов на песчаных почвах. М.: АН СССР. 488 с.

Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. 1975. Энерго- и массообмен в системе растение-почва-воздух. Л.: Гидрометеоиздат. 358 с.

Полевой определитель почв России. 2008. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева. 182 с.

Роде А.А. 1965. Основы учения о почвенной влаге. Том 1. Водные свойства почв и передвижение почвенной влаги. Ленинград: Гидрометеоиздат. 664 с.

Салугин А.Н., Кулик А.К. 2017. Гидрофизические характеристики песчаных почв: моделирование восстановления водоудерживающей способности // Российская сельскохозяйственная наука. № 6. С. 51-55.

Светлищев Н.М. 1964. Водный и температурный режим почвогрунтов под культурами сосны Етеревского песчаного массива. Автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Волгоград: 23 с.

Судницин И.И. 1964. Закономерности передвижения почвенной влаги. М: Наука. 134 с.

Специализированные массивы для климатических исследований. 2022 [Электронный ресурс http://aisori-m.meteo.ru (дата обращения 16.01.2022)].

Edlefsen N.E., Anderson A.B.C. 1943. Thermodynamics of Soil Moisture // Hilgardia. Vol. 15. No. 2. Pp. 31-298.

Huang J., Hartemink A.E. 2020. Soil and Environmental Issues in Sandy Soils // Earth-Science Reviews. Vol. 208. Pp. 103-295.

Luo Y., Ghezzehei T., Zhongbo Yu., Berli M. 2020. Modeling Near - Surface Water Redistribution in a Desert Soil // Vadose Zone Journal. Vol. 19 (1) [Электронный ресурс https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/vzj2.20081 (дата обращения 16.01.2022)].

Richards L.A. 1931. Capillary Conduction of Liquids through Porous Mediums // Journal of Applied Physics. Vol. 1. Pp. 318-333.