

УДК 631.432:631.544.7

## РЕЖИМ ВЛАЖНОСТИ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ МОСКОВСКОЙ МЕЩЕРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЯХ НА ПОВЕРХНОСТИ

© 2018 г. М. А. Сидорова<sup>1</sup>, \*, Е. О. Борисова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы

\*e-mail: sidorova\_ma@mail.ru

Поступила в редакцию 06.06.2017 г.

Выявлены закономерности режима влажности дерново-подзолистой почвы Московской Мещеры под влиянием планировочных решений рекреационной зоны придомовой территории. Влажность почвы определяли буровым методом. Получены данные динамики влажности почвы за 2014–2016 гг. при разных условиях на поверхности, представляющих собой варианты планировочных решений: вводились природные и искусственные компоненты (отсыпки, мульчирующие материалы, элементы мощения), принципы формирования которых имели экологическую и композиционную основы. Выявлен достоверный рост (на уровне значимости  $\alpha = 0.05$ ) запасов влаги в среднем за все годы исследований в слое 1 м в трех вариантах полевого эксперимента: “сухой ручей” с возможным дополнительным источником увлажнения – поверхностным притоком; мульчирование ровной поверхности почвы ракушечником и сосновым опадом. Увеличение запасов влаги в этих вариантах составило 31.4, 22.5 и 19.4% по отношению к контролю, где среднее значение запасов влаги не превышало 112 мм водного слоя и было близко к запасам влаги, соответствующим категории 0.7 от наименьшей влагоемкости (108 мм водного слоя). В незапечатанном фрагменте почвы среди мощения и в рокарии запасы влаги снижались по отношению к контролю на 4.0 и 11.2–30.7% соответственно в достаточные по увлажнению и засушливые годы. В первом случае различия не достоверны, а во втором существенны. Анализ хроноизоплет влажности почвы выявил дифференциацию вариантов по степени увлажненности почвенного профиля.

*Ключевые слова:* запасы почвенной влаги, хроноизоплеты, артоэкосистема, Albic Podzol

DOI: 10.1134/S0032180X18080117

### ВВЕДЕНИЕ

Влажность почвы является одним из ключевых факторов, определяющих функционирование как природных экосистем (луг, болото и др.), так и антропогенно-измененных. Вовлечение почв в сельскохозяйственное производство (интенсивная их обработка, внесение органических и минеральных удобрений, орошение, осушение и др.) приводит к значительному изменению свойств почв и их внешнего морфологического облика. И агроэкосистемы (сельскохозяйственные поля, плодовые сады, огороды и др.), и артоэкосистемы (парки, скверы, дворовые территории, цветники), как примеры антропогенного воздействия, характеризуются относительно устойчивым функционированием во времени. Артоэкосистема включает в себя взаимодействующие искусственные (декоративные отсыпки, мощение) и природные компоненты (материалы природного происхождения, растения, почву). В результате антропогенного преобразования ландшафтов возможен существенный сдвиг в режимах функционирования

почв. Поэтому задача выявления закономерностей и количественной оценки изменения режимов влажности почв под влиянием подобных воздействий приобретает все большую актуальность в связи с активным развитием как территориально крупных культурных ландшафтов (парков, лесопарков, системы городского зеленого хозяйства и др.), так и небольших рекреационных зон (придомовой территории, палисадника и др.). Научные основы изучения водного режима почв и решения проблем его оптимизации были заложены В.В. Докучаевым и развивались его учениками и последователями [5, 13, 17]. Регулирование водного режима почв достигается различными мелиоративными и агротехническими мероприятиями с учетом специфических почвенно-климатических условий и потребности растений в воде [2, 3, 7, 26].

В рекреационных ландшафтах целесообразны способы регулирования водного режима почв, не требующие значительных материальных и трудовых затрат на эксплуатацию оросительных и осушительных систем. Известно, что мульчирова-

**Таблица 1.** Физические и водно-физические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы Московской Мещеры

Горизонт	Глубина, см	Гранулометрический состав	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Пористость, %	Влажность (θ), % от объема		
			твердой фазы	почвы		МГ	ВЗ	НВ
А пах	0–30	Супесь мелкопесчаная	2.40 ± 0.02	1.2 ± 0.1	50.0 ± 2.1	1.3 ± 0.1	6.4 ± 0.4	24.8 ± 1.5
A1A2	30–40	Супесь мелкопесчаная	2.51 ± 0.02	1.3 ± 0.1	52.0 ± 2.3	0.8 ± 0.1	6.5 ± 0.4	23.0 ± 1.4
A2	40–50	Песок рыхлый	2.60 ± 0.02	1.3 ± 0.1	–	0.5 ± 0.1	5.1 ± 0.3	22.3 ± 1.3
B1ff	50–80	Песок связный	2.60 ± 0.02	1.5 ± 0.1	–	2.1 ± 0.1	7.2 ± 0.4	22.6 ± 1.4
B2g	80–130	Песок рыхлый	2.60 ± 0.02	1.5 ± 0.1	–	0.6 ± 0.1	7.5 ± 0.5	15.4 ± 0.9

ние, как агромелиоративный прием на сельскохозяйственных полях, снижает испарение влаги из почвы в период от схода снежного покрова до смыкания посевов и после уборки урожая до наступления зимы. Накопленный до настоящего времени экспериментальный материал, свидетельствует о том, что данный прием существенно изменяет влажность почвы, являющуюся важнейшим экологическим фактором [15, 16, 22–27]. Подобные исследования в артоэкосистемах проводятся ограниченно. Влияние планировочных решений на гидрологический режим почв требует дальнейшей оценки, а имеющаяся до настоящего времени база данных носит часто эмпирический характер и очень мала.

Цель исследования – выявить тенденции трансформации режима влажности дерново-подзолистой слабооглеенной супесчаной почвы Московской Мещеры под влиянием различных планировочных решений в формирующихся артоэкосистемах рекреационной зоны придомовой территории.

Задачи исследования: получение данных для построения и анализа хроноизоплант влажности почвы с различными планировочными решениями на ее поверхности в годы разной влаго- и теплообеспеченности (2014, 2015, 2016) в полевом эксперименте в масштабе, характерном для рекреационных зон придомовых территорий; изучить закономерности влияния планировочных решений поверхности почвы на запасы почвенной влаги, на базе которых запланирована в дальнейшем разработка рекомендаций по управлению водным режимом исследуемой почвы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на дерново-подзолистой псевдофибровой слабооглеенной супесчаной почве (по классификации и диагностике

почв СССР, 1977 г.), сформированной на флювиогляциальных и древнеаллювиальных песчаных отложениях Московской Мещеры. Профиль почвы, приуроченный к верхней части склона пологого холма, представлен горизонтами: А пах–А1А2–А2–В1ff–В2g. По базе World Reference Base for Soil Resources почва классифицируется как Albic Podzol (Aric, Lamellic). Мощности горизонтов приведены в табл. 1.

В гор. В1ff обнаруживаются тонкие горизонтальные (<0.001 м) и более толстые (>0.01 м) оже-лезненные сцементированные новообразования буровато-серого цвета (псевдофибры), которые выполняли, вероятно, роль локальных водоупоров. Коэффициент впитывания в этом горизонте снижался до 0.1 м/сут, а сопротивление пенетрации увеличивалось до  $1.5 \times 10^6$  Н/м<sup>2</sup>. На ранневесенних сроках (09.04.2015) на глубине 60 см на всех вариантах опыта обнаруживалась верховодка.

Режим влажности почвы изучали в многолетнем полевом опыте на контроле (черный пар) и пяти вариантах, где испытывали различные планировочные решения. Два варианта из пяти характеризовались выраженным микрорельефом (рокарий и “сухой ручей”) и возможными дополнительными статьями расхода/прихода влаги: в первом случае – поверхностным оттоком, а во втором – притоком.

Рокарий площадью 2.7 м<sup>2</sup> создавали путем формирования на поверхности почвы насыпного холма высотой 0.6 м (выпуклый элемент микрорельефа). Уклоны южного и северного склонов холма составляли 40°. В качестве грунта использовали гор. А пах исследуемой почвы. Плоские (толщиной всего 0.02–0.03 м) плиты кварцита (златолит) площадью 0.08–0.25 м<sup>2</sup> углубляли в холм и устанавливали на ребро параллельно одна к другой на расстоянии 0.03–0.05 м друг от друга. Широкие плоскости златолита ориентировали на

юг и север, что имело ряд важных преимуществ: во-первых, камни аккумулировали днем тепло, увеличивая годовую сумму положительных температур, которой не хватает многим растениям в условиях средней полосы России; во-вторых, конкуренция корневых систем почвопокровных растений, посадка которых запланирована в образованные златолитом ниши после проведенных исследований, будет минимальна. Природный камень оказывал на поверхность почвы внешнее давление ( $p_{\text{вн}}$ )  $62 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$  ( $p_{\text{вн}} = m g/S$ , где  $m$  – масса,  $g$  – ускорение свободного падения,  $S$  – площадь) [21].

Территория, на которой был организован “сухой ручей” имела небольшой уклон ( $1^\circ$ – $2^\circ$ ) с юга на север. В этом же направлении был ориентирован и исследуемый планировочный элемент. При создании “сухого ручья” почвенная масса была извлечена до глубины 0.4 м (вогнутый элемент микрорельефа) и использована для формирования боковых откосов русла с уклоном  $30^\circ$ . Поверхность гор. А2 стала днищем “сухого ручья”. Русло выстлано геотекстилем (плотность материала  $0.2 \text{ кг/м}^2$ ) с целью возможного предотвращения проникновения корней растений после их посадки. Влияние слоя геотекстиля на режим влажности незначительно, что показали наши более ранние исследования [14]. На геотекстиль выкладывали природные валуны диаметром 0.06–0.1 м, а между ними засыпали ракушечник (фракция 0.005–0.01 м). При бурении почвы на влажность валуны и геотекстиль сдвигали, не нарушая целостности используемого материала. Площадь объекта составила  $14.3 \text{ м}^2$  при его длине 14.1 м и варьировании ширины русла от 0.9 до 1.1 м,  $p_{\text{вн}} = 84 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ .

Третий и четвертый варианты представляли из себя участки размером по  $3 \text{ м}^2$  каждый, на поверхность почвы укладывали геотекстиль, а затем мульчу: в первом случае сосновый опад, слой 0.05 м ( $p_{\text{вн}} = 0.04 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), а во втором (опыт 2016 г.) – ракушечник, слой 0.02 м, описанной выше фракции ( $p_{\text{вн}} = 0.1 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$ ). Испытывали еще одно (пятое) планировочное решение (опыт 2016 г.) – незапечатанный фрагмент поверхности почвы площадью  $1.4 \text{ м}^2$ , имеющий замкнутое по периметру мощение (материал мощения: искусственный булыжник). Площади запечатанного и незапечатанного фрагментов совпадали.

Растительность на всех вариантах опыта анализируемого этапа исследований отсутствовала.

Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом с отбором образцов буром (производства Голландии) с диаметром ложки 2 см [4]. Образцы на влажность брали в рокарии и у подножия южного и северного склонов, а также с

вершины, в “сухом ручье” – по дну, в средней и верхней частях откоса русла. Измерение влажности почвы во всех вариантах опыта проводили до глубины 1.0 м от дневной поверхности через каждые 0.1 м с двукратной повторностью и частотой 1 раз в 10 дней.

Плотность твердой фазы определяли пикнометрически, плотность почвы – по методу Качинского, коэффициент впитывания – методом трубок с переменным напором, сопротивление пенетрации – с помощью пружинного пенетromетра [4], почвенно-гидрологические константы (влагу завядания (ВЗ), влагу разрыва капилляров – (ВРК) и наименьшую влагоемкость (НВ)) – по основной гидрофизической характеристике с помощью метода “секущих” по А.Д. Воронину [5] (табл. 1). ОГХ получали в почвенных образцах нарушенного сложения капилляриметрическим способом в зондовом варианте (рF 0–2.8) и методом десорбции паров воды над насыщенными растворами солей (рF 4.4–6.5).

Определения проводили в двукратной повторности. Гранулометрический состав почвы определяли методом лазерной дифрактометрии с использованием лазерного анализатора размера частиц Analysette 22 MicroTecplus (Германия).

Для характеристики метеорологических условий периода исследования использовали данные по осадкам, температуре и относительной влажности воздуха, предоставленные метеостанцией г. Орехово-Зуево. Также температуру воздуха измеряли непосредственно на территории объекта исследования с помощью термохрон-датчиков марки Termochron Viuwer серии DS1923-F5 с точностью  $0.05^\circ\text{C}$  на высоте 2 м от поверхности почвы с интервалом 3 ч в течение всего вегетационного периода (с мая по октябрь). Испаряемость ( $E_o$ , мм водн. сл.) рассчитывали по формуле:

$$E_o = 0.0018(25 + t)^2(100 - A),$$

где  $A$  – относительная влажность воздуха, %;  $t$  – среднесуточная температура воздуха,  $^\circ\text{C}$ . Коэффициент увлажнения (КУ) – величина расчетная:  $\text{КУ} = O_c/E_o$ , где  $O_c$  – сумма осадков.

Оценку существенности разности вариантов опыта и контроля по влажности производили с помощью  $t$ -критерия Стьюдента по разности средних [8] (табл. 2). Выборки по вариантам соответствовали одинаковому срокам. Использовали одновременные пары значений (например, для двух вариантов). Обработку данных выполняли в пакете Statistika 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные физические и водно-физические свойства исследуемой почвы представлены в табл. 1. Плотность исследуемой почвы в слое

**Таблица 2.** Достоверность различий объемной влажности (%) дерново-подзолистой супесчаной почвы Московской Мещеры на контроле и вариантах полевого опыта “сухой ручей” и рокарий, вегетационный период 2016 г.

Параметр	“Сухой ручей”			Рокарий		
	слой, см			слой, см		
	0–20	0–50	0–100	0–20	0–50	0–100
$d$	10.0	206.8	1075.1	10.0	227.8	1421.1
$s_d$	4.0	9.0	14.0	3.7	9.2	15.3
$t$ -критерий	2.5	22.9	76.8	2.7	24.9	92.9

Примечание. Во всех сравниваемых вариантах и слоях получены достоверные различия на уровне значимости 0.05; число степеней свободы равно 16 (9 точек на контроле и 9 в “сухом ручье” или рокарии);  $d$  – разность средних;  $s_d$  – оценка разности средних;  $t$ -критерий Стьюдента.

0.0–0.4 м оптимальна для супесчаных горизонтов (1200–1450 кг/м<sup>3</sup>) [1, 6]. В нижних безгумусных песчаных горизонтах она увеличивается до 1500 кг/м<sup>3</sup>. Наименьшая влагоемкость достигала довольно высоких значений для супесчаной почвы (объемная влажность 23–25%), благодаря высокому содержанию мелкопесчаной фракции в слое 0–0.4 м и наличию в профиле псевдофибр.

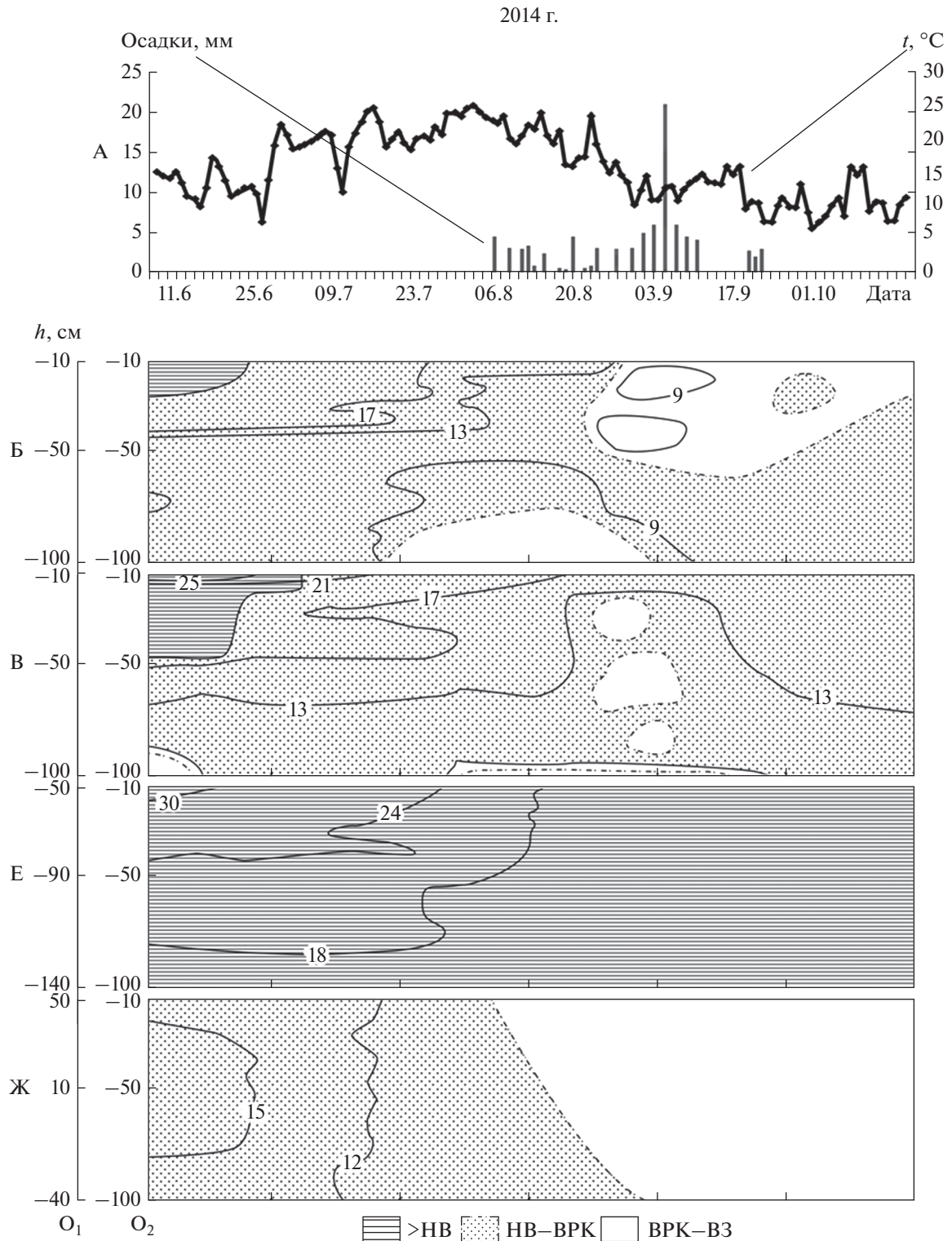
По существующему климатическому районированию Московскую область относят к зоне достаточного увлажнения, средний многолетний коэффициент увлажнения (КУ) за теплый период равен 1.05. Два года (2014 и 2015) из трех лет исследований были засушливыми (КУ не превышал 0.62–0.63), а 2016 г. – достаточным по увлажнению (КУ = 0.89). Другие метеорологические параметры вегетационных периодов 2014–2016 гг. также отличались от среднемноголетних. При среднемноголетней величине  $O_C$  за теплые месяцы (май–сентябрь) 389 мм,  $O_C$  в 2014, 2015 и 2016 гг. составили 273, 365 и 404 мм соответственно, что оказалось в первых двух случаях на 31 и 6% ниже, а в третьем случае выше на 4%, чем среднемноголетняя сумма. Среднесуточные температуры за теплый период достигали в исследуемые годы 16.9, 15.6 и 17.2°C, то есть были выше среднемноголетней температуры на 1.7, 0.4 и 2.0°C соответственно. Максимальная сумма  $E_O$  отмечена в теплый период 2016 г. (496 мм), амплитуда колебаний  $E_O$  достигала 12 мм от средней многолетней величины (442 мм). В теплый период 2014 г. сумма  $E_O$  была выше на 10% и только в 2015 г. ниже среднемноголетней суммы на 1%.

По результатам исследований построены хроноизоплеты (рис. 1–3), где выделены периоды, соответствующие распределению объемной влажности ( $\theta$ ) по категориям: >НВ, НВ–ВРК и ВРК–ВЗ. Анализ хроноизоплет влажности позволяет судить о почве в различных аспектах: 1) агрофизическом (доступность почвенной влаги для растений); 2) эволюционном и мелиоративном (со стороны протекания в почве возможных анаэробных

процессов и периодов засухи) [19]. На контроле после весеннего снеготаяния отмечены периоды, когда  $\theta$  верхнего (в 2014/2015 гг.) и более глубоких слоев почвы (2016 г.) была >НВ. Эти периоды длились в засушливые годы почти до конца июня (2014) и начала июля (2015), а в достаточный по увлажнению год – до 24.07.2016 и, вероятно, были обусловлены не только атмосферными осадками, но и влиянием верховодки (выявлена на всех вариантах опыта в 2015 г. после таяния снега на глубине почвы 0.6 м). Ожелезненные прослойки песка (псевдофибры) и уплотненные иллювиальные горизонты с признаками оглеения выполняли роль локального водоупора и способствовали ее формированию.

С середины вегетационных периодов под влиянием высокой температуры воздуха ( $t > 20^\circ\text{C}$ ) профиль почвы (на контроле) иссушался, и  $\theta$  уменьшалась до НВ и ниже – до ВРК, или даже до критической ВЗ. Следует отметить, что осадки, выпадавшие в теплый период сухих и средних по влажности лет, почти не изменяли величину  $\theta$  корнеобитаемой толщи, и она с середины лета оставалась на низком уровне; на подобный факт указывали и другие авторы исследований [9]. В 2015/2016 гг. категория влаги, соответствующая ВРК–ВЗ, наблюдалась во второй половине лета на контроле до глубины 1.0 м, а верхний уровень ее распространения достигал 0.2 и 0.5 м. Это явление довольно глубокого иссушения профиля свойственно только легким почвам, сформированным на песчаных отложениях, и обусловлено интенсивным испарением влаги, высокой аэрацией и динамичностью газовой фазы почвы [10]. Однако общие запасы влаги в среднем за все 3 года наблюдений во всем профиле почвы, не превышающие 112 мм водн. сл. (табл. 3), практически соответствовали запасам влаги (ЗВ) категории 0.7 × НВ (108 мм водн. сл.).

Мульчирование опадом хвои достоверно (уровень значимости  $\alpha = 0.05$ ) увеличивало ЗВ в слоях 0.0–0.2, 0.0–0.5 и 0.0–1.0 м по сравнению с контролем в среднем за 3 года исследований на 35.2,



**Рис. 1.** Метеорологические параметры (А), хроноизоплеты в вариантах (контроль (Б), мульча сосновый опад (В), “сухой ручей” (Е), рокарий (Ж)) полевого опыта на дерново-подзолистой супесчаной почве Московской Мещеры 2014 г.  $O_1$  и  $O_2$  – глубина почвы, где за 0 см принята поверхность почвы на контроле и дневная поверхность варианта опыта соответственно.

**Таблица 3.** Средние запасы влаги (ЗВ) дерново-подзолистой супесчаной почвы Московской Мещеры в вариантах полевого опыта за 11.06–10.10.2014 г.

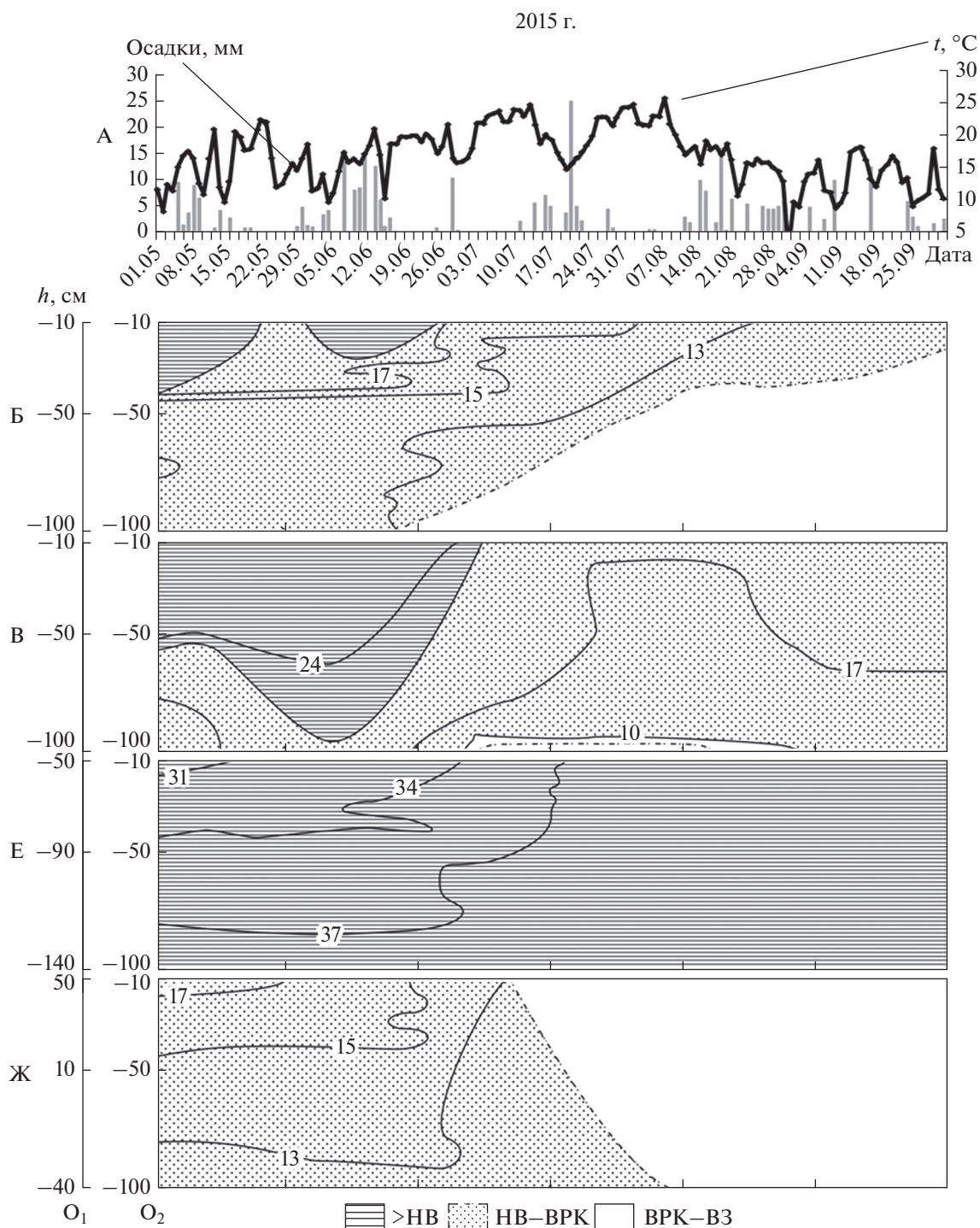
Вариант	ЗВ (мм водн. сл.) в слое (см)		
	0–20	0–50	0–100
Контроль	29 ± 8	63 ± 16	113 ± 18
Мульчирование сосновым опадом	36 ± 10	86 ± 20	135 ± 24
Рокарий	23 ± 7	47 ± 10	89 ± 19
“Сухой ручей”	38 ± 10	89 ± 21	146 ± 35

21.9 и 19.4% соответственно, а если оценивать динамику отдельно по годам, наибольший рост ЗВ отмечен в 2016 г., то есть в достаточный по КУ год. Полученные значения ЗВ были близки к расчетным ЗВ, соответствующим ВРК (0.7 НВ). Влажность более НВ фиксировалась после весеннего снеготаяния почти до конца июня (2014 г.), в 2015 г. — дольше (до начала июля), а в 2016 г. в верхнем слое почвы — даже до середины августа. Максимальная зона распространения этой категории влаги по профилю распределялась по годам в той же последовательности и составила глубину 0.5, 0.7 и 0.9 м. Весь последующий период наблюдений во все годы практически во всем профиле фиксировалась легкодоступная влага (НВ–ВРК) [19], исключение составили лишь небольшие локальные зоны с  $\theta$  от ВРК до ВЗ, сопряженные с высокой температурой воздуха (например, с конца июля до начала сентября 2014 г.). Сопоставление данных по величине  $\theta$  на контроле и исследуемом варианте показало, что динамика  $\theta$  определяется значительным снижением интенсивности испарения влаги под влиянием органической мульчи [23, 24, 26].

Под влиянием мульчирования поверхности почвы ракушечником обнаружен (рис. 3, Д) еще более существенный рост ЗВ, чем под хвойным опадом. В слоях почвы (аналогичных варианту мульчирование опадом хвои) зафиксировано увеличение ЗВ по отношению к контролю на 36.4, 24.1, 22.5%. Во всем профиле 0.0–1.0 м величина  $\theta$  держалась выше НВ в течение практически всего (до 28.08.2016) вегетационного периода. Влага, соответствующая НВ–ВРК, появлялась в слое 0.8–1.0 м с 28.08.2016. Проведенные ранее модельные эксперименты [15] показали, что ракушечник из всех испытуемых мульчирующих материалов наиболее существенно снижал испарение влаги из почвы. Комбинация мелких и средних фракций ракушечника формирует упаковку, хорошо предохраняющую почву от испарения из нее влаги. Кроме того, внешнее давление мульчирующего слоя ракушечника на поверхность почвы значительно больше, чем легкого хвойного опада, и этот факт важно учитывать в формировании вод-

ного режима легких почв, характеризующихся наличием псевдофибр. Сравнимые материалы существенно различаются и по теплофизическим свойствам, в результате чего почва под хвойным опадом не промерзала во все исследуемые зимние периоды, а под ракушечником процессы промерзания шли интенсивнее, формируя локальные зоны водоупоров, приуроченные, в частности, к слоистым псевдофибрам гор. В1ff и пятнам оглеения гор. В2g.

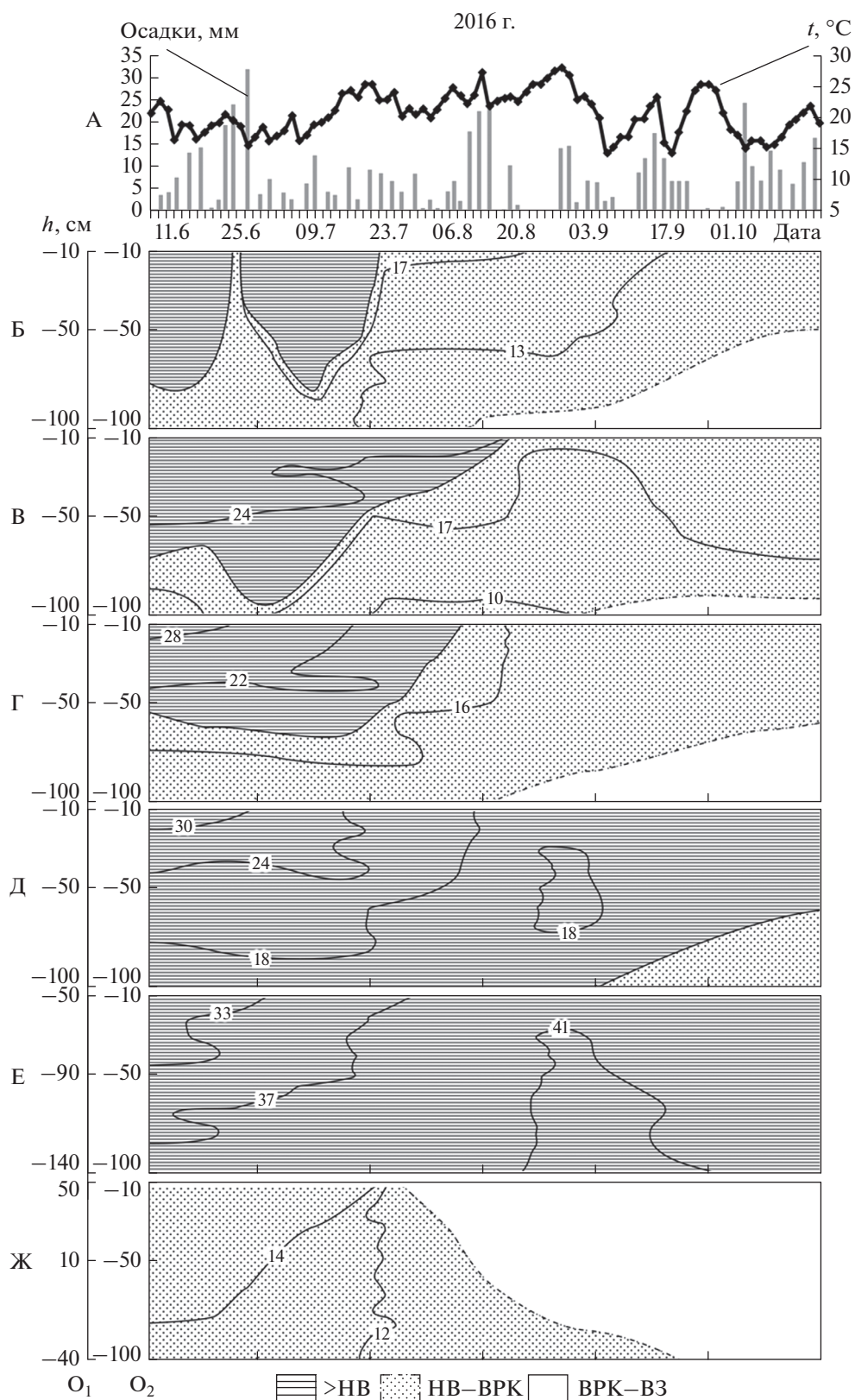
В “сухом ручье” отмечен достоверный рост ЗВ ( $\alpha = 0.05$ ) по отношению к контролю в слое 0.0–0.5 м на 13.6–31.4% (образцы на влажность брали от дневной поверхности почвенного объекта, то есть бурили дно ручья). Боковые откосы русла “сухого ручья” были практически всегда суше, чем его дно в среднем на 2.1–3.5%, что, очевидно, связано с поверхностным стоком осадков по откосам, то есть обусловлено характером микрорельефа почвенного объекта. В течение всех исследуемых вегетационных периодов  $\theta$  в “сухом ручье” была выше НВ. Учитывая небольшой уклон территории, на которой был организован планировочный элемент, вероятен вклад и поверхностного притока осадков. Существенное снижение интенсивности испарения влаги может быть обусловлено одновременной отсыпкой русла натуральным булыжником и ракушечником. В условиях высокой влажности и уплотнения почвы трансформируются и фильтрационные свойства горизонтов, что особенно важно учитывать для почв этого генезиса, характеризующихся наличием псевдофибр в профиле и имеющих признаки оглеения гор. В2g в виде сизоватых пятен. Ожелезненные цементационные новообразования могут играть существенную роль во влагообеспечении сосновых лесов, произрастающих на почвах, имеющих в своем составе псевдофибры [11]. Псевдофибрам свойственна большая водоудерживающая способность и очень низкие коэффициенты фильтрации, то есть они могут выполнять функции локальных водоупоров. Кроме того, следует принимать во внимание и особый микроклимат, формирующийся в условиях сложившегося микрорельефа этого почвенного объекта, и



**Рис. 2.** Метеорологические параметры (А), хроноизоплоты в вариантах (контроль (Б), мульча сосновый опад (В), “сухой ручей” (Е), рокарий (Ж)) полевого опыта на дерново-подзолистой супесчаной почве Московской Мещеры 2015 г.  $O_1$  и  $O_2$  – глубина почвы, где за 0 см принята поверхность почвы на контроле и дневная поверхность варианта опыта соответственно.

сильное нагревание в дневное время суток каменистых фрагментов на поверхности почвы и их охлаждение в ночное время. Поэтому не исключены явления термовлагопереноса: когда поверх-

ность почвы охлаждается, влага подтягивается из нижних слоев, увлажняя поверхность, или движется в обратном направлении при нагревании поверхности [19].



**Рис. 3.** Метеорологические параметры (А), хроноизоплеты в вариантах (контроль (Б), мульча сосновый опад (В), незапечатанный фрагмент (Г), ракушечник (Д), “сухой ручей” (Е), рокарий (Ж)) полевого опыта на дерново-подзолистой супесчаной почве Московской Мещеры 2016 г.  $O_1$  и  $O_2$  – глубина почвы, где за 0 см принята поверхность почвы на контроле и дневная поверхность варианта опыта соответственно.



В рокарии (средние значения ЗВ в целом за все годы исследований были достоверно ниже ( $\alpha = 0.05$ ) по сравнению с контролем на 11.2–30.7%. Отметим, что ЗВ в рокарии считали, используя только рыхлый компонент конструкции.

С момента начала режимных наблюдений всех лет величина  $\theta$  фиксировалась в пределах НВ–ВРК в слоях 0.0–0.4 и 0.4–0.8 м (измерения проводили от дневной поверхности) соответственно до начала июля и августа. Далее снижалась до ВРК–ВЗ (сперва иссушались верхние слои почвы, а затем постепенно и более нижние), и этот уровень  $\theta$  держался до конца вегетационного периода (начала октября). Такому режиму способствовал микрорельеф рокария и особый способ укладки плит златолита по холму. Хроноизоплеты этого варианта опыта построены на основании средних данных по величине  $\theta$ , полученных на склонах южной и северной экспозиций, где различия составляли 3–4%, причем максимальные значения фиксировались в самый засушливый год исследований (2014).

Что касается температурного режима, то он также оказывал существенное влияние на влажность почвы. Дополнительное активное прогревание почвы склона южной экспозиции за счет аккумуляции тепла широкими плоскостями златолита южной ориентации способствовало усилению испарения влаги из почвы и снижало величину  $\theta$  почвы этой части рокария.

В незапечатанном фрагменте почвы среди мощения искусственным булыжником (рис. 3, Г) выявлена тенденция уменьшения ЗВ (на 4.0%) по сравнению с контролем в целом за весь период наблюдений в слое 0.0–0.5 м, но полученные различия статистически не значимы. Влияние мощения обнаруживалось со второй декады августа по вторую декаду октября 2016 г., когда температура воздуха неоднократно повышалась. Искусственный булыжник, характеризующийся более высоким коэффициентом температуропроводности  $5.1 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$  [21], чем почва ( $3.6 \times 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ) [12, 18], нагревал в дневные часы почвенную поверхность и способствовал усилению испарения влаги из незапечатанного мощением фрагмента. Периоды  $\theta > \text{НВ}$ , НВ–ВРК, ВРК–ВЗ в этом варианте практически идентичны с контролем.

## ВЫВОДЫ

1. Из пяти планировочных решений, представленных на поверхности дерново-подзолистой слабооглеенной супесчаной почвы Московской Мещеры, четыре: 1) мульчирование сосновым опадом и 2) ракушечником, 3) “сухой ручей”, 4) рокарий (общая площадь которых соответствовала 3.0, 3.0, 14.3, 2.7 м<sup>2</sup>) привели к существенно изменению режима влажности. Исключение

составил незапечатанный фрагмент почвы, расположенный среди мощения искусственным булыжником, где площади запечатанного и незапечатанного фрагментов были одинаковы и не превышали 1.4 м<sup>2</sup>. Режим влажности в год достаточный по увлажнению (2016, КУ = 0.89) был приближен в этом варианте к контрольному. По-видимому, площади планировочных решений имеют существенное значение в накоплении/распределении влаги. На контроле во второй половине вегетационных периодов (достаточных по КУ лет и, особенно, сухих) наблюдался некоторый дефицит влаги (при  $\theta = \text{ВРК–ВЗ}$ ), существенный не только для растений гигрофитов, но и многих мезофитов. В ряду вариантов 1, 2 и 3 отмечен последовательный рост средней величины  $\theta$  в целом по профилю. Длительность периодов с  $\theta > \text{НВ}$  увеличивалась от сухих лет к достаточным по КУ годам и растягивалась до полумесяца. В последовательности вариантов от первого к третьему период  $\theta > \text{НВ}$  продолжался в достаточный по КУ год: до середины, конца августа и на протяжении всего вегетационного периода соответственно. В варианте рокарий величина  $\theta$  фиксировалась в пределах НВ–ВРК в слое 0.0–0.8 м до июля–августа. Далее снижалась до ВРК–ВЗ и этот уровень  $\theta$  держался до конца вегетационного периода (начала октября). Полученный спектр режимов влажности в вариантах планировочных решений может значительно расширить растительный ассортимент, соответствующий реконструированным артоэкосистемам.

2. В среднем за весь период исследований максимальный и достоверный ( $\alpha = 0.05$ ) рост ЗВ в слое 0.0–1.0 м по отношению к контролю (где ЗВ = 112 мм вод. сл.) выявлен в почвенном объекте “сухой ручей” (на дне и откосах русла на 31.4 и 25.1%), что обусловлено особенностями строения почвенной конструкции и выраженным вогнутым микрорельефом, возможным стеканием осадков по откосам русла ко дну. Кроме того, высокое внешнее давление на почву искусственной отсыпки (валуны и ракушечник), вероятно, существенно изменяет водные свойства почв (например, за счет возможного уплотнения), что очевидно отражается на величине испарения влаги из почвы. Мульчирование почвы ракушечником и сосновым опадом также достоверно ( $\alpha = 0.05$ ), но не столь значительно увеличивало ЗВ (на 22.5 и 19.4% соответственно). Мелкие и средние фракции ракушечника образуют плотную упаковку (1400 кг/м<sup>3</sup>), хотя и характеризуются меньшим, чем в “сухом ручье” внешним давлением мульчирующего слоя на почву. В рокарии же отмечено достоверное ( $\alpha = 0.05$ ) уменьшение ЗВ по отношению к контролю на 11.2–30.7%, что связано с особенностями выраженного выпуклого микрорельефа почвенной конструкции, а, следовательно,

но, и возможным поверхностным оттоком влаги. Кроме того, важную роль играет и особый способ укладки плиточного кварцита, значительно усиливающий прогревание почвы и как следствие, испарение влаги из нее.

Антропогенное воздействие на почву в плане организации зон рекреации придомовых территорий позволяет существенно трансформировать режим влажности дерново-подзолистой слабооглеенной супесчаной почвы Московской Мещеры, что в свою очередь открывает возможности реконструкции имеющихся природных связей в артоэкосистемах и создания новых с учетом физиологических особенностей экологически специализированных групп растений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарев А.Г.* О значении физических свойств почв в адаптивно ландшафтном земледелии // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2007. № 60. С. 71–74.
2. *Братсберг У.Х.* Испарение в атмосферу. Теория, история, приложения. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 352 с.
3. *Будаговский А.И., Григорьева Н.И.* Пути повышения эффективности ресурсов почвенных вод // Водные ресурсы. 1991. № 1. С. 131–142.
4. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
5. *Воронин А.Д.* Основы физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с.
6. *Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф.* Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
7. *Гусев Е.М., Бусарова О.Е.* Моделирование динамики относительной площади листьев злаковых культур // Метеорология и гидрология. 1998. № 1. С. 100–107.
8. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. *Зайдельман Ф.Р.* Деградация почв как результат антропогенной трансформации их водного режима и защитные мероприятия // Почвоведение. 2009. № 1. С. 93–105.
10. *Зайдельман Ф.Р.* Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М.: Колос, 1975. 321 с.
11. *Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С.* Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зоны. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 220 с.
12. *Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф.* Агрометеорологические основы тепловой мелиорации почв Л., 1979. 45 с.
13. *Роде А.А.* Вопросы водного режима почв. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 215 с.
14. *Сидорова М.А., Борисова Е.О.* Особенности режима влажности модельной дерново-подзолистой почвы при мульчировании еловым опадом // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2014. № 2. С. 34–39.
15. *Сидорова М.А., Борисова Е.О., Никифорова А.С.* Управление гидрологическим режимом почвы культурного ландшафта рекреационного назначения // Вестник ОГУ. Биологические науки. 2016. № 5. С. 79–84.
16. *Смолин Н.В.* Мульчирование почвы в зерновой системе земледелия. Саранск: Мордов. ун-т, 1997. 116 с.
17. *Судницын И.И.* Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 432 с.
18. *Чудновский А.Ф., Вершинин П.В. и др.* Основы агрофизики / Под ред. А.Ф. Иоффе. М.: Физматгиз, 1959. С. 456.
19. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
20. *Шумова Н.А.* Влияние мульчирования на суммарное испарение полей яровой пшеницы на юге Русской равнины // Метеорология и гидрология. 2010. № 2. С. 82–91.
21. *Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К.* Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. Оникс, 2006. 1056 с.
22. *Adam O. et al.* Mulches influence soil properties and plant growth // HortTechnology. 2012. V. 22. № 3. P. 353–361.
23. *Liu Yi et al.* Effect of mulch and irrigation practices on soil water and soil temperature and the grain yield of maize in Loess Plateau, China // African J. Agricult. Res. 2011. V. 6. № 10. P. 2175–2182.
24. *Kumar S.D., Lal B.R.* Effect of mulching on crop production under rainfed condition: A review // Int. J. Res. Chem. Environ. 2012. V. 2. P. 8–20.
25. *Massee T., Cary J.* Potential for reducing evaporation during summer fallow // J. Soil Water Conserv. 1978. V. 33. № 3. P. 126–129.
26. *Steiner J.L.* Tillage and surface effects on evaporation from soils // Soil Sc. Soc. Am. J. 1989. V. 53. № 3. P. 911–917.
27. *Yan-min Yang, Xiao-jing, Liu Wei-qiang Li, Cun-zhen Li.* Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China // J. Zhejiang Univ. Sci. B. 2006. V. 7. № 11. P. 858–867.