

## ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕЙ НА ДИАПАЗОН ДОСТУПНОЙ ВЛАГИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Т. Н. Данилова

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14,  
E-mail: danilovatn@yandex.ru

Поступила в редакцию 15 июля 2019 г., принята к печати 26 августа 2020 г.

Применение полимерных материалов приобретает особое значение в связи с наблюдаемыми изменениями климата. Водопоглощающие полимеры позволяют разрабатывать методы управления и регулирования водно-физических свойств почв. Влагопоглощающие полимерные гидрогели являются перспективным средством улучшения водного режима песчаных и супесчаных почв. Внесение в почву небольшого количества влагоудерживающих полимеров значительно ускоряет рост растений и повышает урожайность сельскохозяйственных культур. В данной работе проведено исследование отечественных гидрогелей Ритин-10, Аквасин и В-415 К в сравнении с полимером зарубежного производства AQUASORB с точки зрения возможности их использования для повышения влагоемкости супесчаной дерново-подзолистой почвы. В лабораторном эксперименте изучалась водоудерживающая способность дерново-подзолистой супесчаной почвы с гидрогелем. Дозы внесения гидрогеля в почву определялись из расчета 100 кг га<sup>-1</sup> и 300 кг га<sup>-1</sup>. Для определения водоудерживающей способности применялся психрометр WP4-T Dewpoint Potentia Meter. В результате исследований был определен диапазон доступной для растений влаги. Интервал влаги, поглощенной гидрогелем, составляет от 10 до 25% от НВ почвы с гелем. Эффективность применения отечественных гидрогелей для увеличения диапазона доступной влаги дерново-подзолистой супесчаной почвы установлена при их внесении в дозе 300 кг га<sup>-1</sup>. Интервал продуктивной влаги (НВ-ВЗ) увеличился от 10% в контроле до 21–22,5% при дозе гидрогеля 300 кг га<sup>-1</sup>. Водоудерживающая способность отечественных гидрогелей оказалась незначительно ниже по сравнению с гидрогелем зарубежного производства AQUASORB, однако это не отражается на эффективности их применения в земледелии и растениеводстве.

**Ключевые слова:** гидрогель, потенциал почвенной влаги, дерново-подзолистая почва, психрометр.

## INFLUENCE OF POLYMER GELS ON RANGE OF AVAILABLE MOISTURE OF SOD-PODZOLIC SOIL

T. N. Danilova

Agrophysical Research Institute  
14, Grazhdanskiy pr., St.-Petersburg, 195220  
E-mail: danilovatn@yandex.ru

The usage of polymeric materials is of a particular importance due to the observed climate changes. Water-absorbing polymers allow developing of methods for control and regulation of soil water-physical properties. Water-absorbing polymer hydrogels are promising ameliorants for water regime improving, particularly in sandy and sandy loam soils. Introduction of a small amount of water-retaining polymer into the soil can significantly accelerate plant growth and increase yields of agricultural crops. The study of the effect of domestic hydrogels Ritin-10, Aquasin and B-415 K in comparison with the foreign-made polymer AQUASORB on the water-holding capacity of a sandy loamy sod-podzolic soil was carried out in a laboratory experiment. Two rates were used for the hydrogels introduction into the soil: 100 kg ha<sup>-1</sup> and 300 kg ha<sup>-1</sup>. The WP4-T Dewpoint Potentia Meter psychrometer was used to determine the soil water-holding capacity. As a result of the study, the range of plant available moisture was determined. The range of moisture absorbed by the hydrogels is from 10 to 25% of the wet soil with the gels. The ability of the domestic hydrogels to increase the range of available moisture in the sod-podzolic sandy loam soil was revealed when the hydrogels were applied at the rate of 300 kg ha<sup>-1</sup>. The interval of productive moisture increased from 10% in the control to 21–22.5% at a rate of the hydrogels of 300 kg ha<sup>-1</sup>. The water-retention capacity of the domestic hydrogels was slightly lower compared to the foreign-made hydrogel AQUASORB, but that was not critical and they still could be effectively used in agriculture for plant growth.

**Keywords:** hydrogel, soil moisture potential, sod-podzolic soil, psychrometer.

## ВВЕДЕНИЕ

Полиакриламидный гидрогель – это сшитый сополимер акриламида акриловой кислоты, нерастворимый в воде и разработанный специально для повышения удержания воды в почве. Особенность полимерных гелей заключается в том, что при наличии воды их гранулы быстро набухают, сохраняя при этом в сотни раз превышающее их массу количество воды и содержащихся в ней питательных веществ.

Способность образовывать гели характерна для полимеров с длинной цепью, особенно с разветвленными молекулами, сшитыми в некоторых местах. Полимерные гели состоят из параллельных друг другу полимерных цепей. При контакте с полимерной цепью вода всасывается в молекулу полимера путем осмоса. Влага задерживается в молекуле полимера благодаря быстрой миграции. При высыхании полимер отдает почве до 95% абсорбированной воды.

Модификация полимерной сетки происходит при изменении количества сшивающего агента:

– сетка будет плотнее, если полимер больше сшит. Емкость полимера при этом уменьшается, но его стабильность увеличивается;

– у менее сшитых полимеров будет слабая сеть. При этом стабильность уменьшается до 95% поглощенной воды, а поглощение увеличивается.

Способность к набуханию у каждого гидрогеля является различной. В результате набухания его объем увеличивается на 1000–1500% (Gilbert et al., 2014). Улучшение агрофизических свойств почвы под воздействием полиакриламидного гидрогеля обусловлено тем, что насыщенные влагой полимерные гранулы обволакиваются отдельными фракциями почвы, склеиваются с ними и превращаются в более крупные агрегаты. Благодаря наличию прочных связей между агрегатами вновь сформированные элементы являются более прочными, тяжелыми и устойчивыми к сильному ветру и эрозионному потоку воды. Полиакриламидный гидрогель поглощает и удерживает воду в течение длительного времени, что обеспечивает накопление и сохранение влаги в почве. В результате ускоряется процесс прорастания семян и увеличивается всхожесть культур. Установлено, что гидрогель способствует снижению плотности почвы, улучшает ее структуру и оказывает положительное влияние на всходы растений. Корни растений поглощают влагу прямо из набухших гелей. Гидрофильный сшитый полимер обеспечивает сохранение дополнительного запаса влаги в почвенном профиле, в основном за счет уменьшения потерь из-за гравитационного стока и физического испарения, что является актуальным в условиях дефицита осадков. Особый интерес представляет использование гидрогелей в засушливых климатических условиях (Aslam, Shahid, 1992).

Во время набухания вода прочно связывается с молекулой полимера, поэтому растения легко получают влагу из гидрогеля. Гидрогели не растворяются в воде, не вымываются из почвы при орошении и могут сохранять эффективность в течение

длительного времени (до 5 лет). Количество воды, поглощенной полимером, в сотни раз превышает его собственную массу, что дает возможность использовать полимеры в небольшом количестве. При внесении гидрогеля в почву его частицы располагаются в поровом пространстве, поэтому степень набухания геля (т. е. количество поглощенной воды) зависит и от его свойств, и от почвенных условий. Известно, что в почве набухание гидрогеля существенно снижается из-за наличия легкорастворимых солей, содержащихся в поливных водах и почвенных растворах (Смагин, 2012; Данилова, 2013). При внесении в почву гидрогелей из полиакриламида или полиакрилонитрила в дозах 0,1–0,2% от массы почвы происходит увеличение в 3–4 раза запасов продуктивной влаги и уменьшение в 1,5–2 раза потерь влаги из корнеобитаемого слоя. При исследовании препаратов AQUASORB 3005 (А и В), КУ (привитой сополимер акриловой кислоты на крахмале) и ПАА (радиационно-сшитый технический полиакриламид) в аридных климатических условиях было установлено, что в дистиллированной воде степень их набухания составила от 375 до 1250 г г<sup>-1</sup>, в дождевой воде уменьшилась в 2,4 раза, в растворе из оросительного канала – в 5 раз у полиакриламида (ПАА) и от 8 до 100 раз у сополимера (КУ). Наибольшей устойчивостью к набуханию в природных условиях и водоудерживающей способностью обладал полиакриламид (ПАА). Для каракумских песчаных почв наиболее эффективным оказалось внесение гидрогеля в дозе 0,15% от массы песка (Нурьев и др., 1986). В Египте при исследовании препарата SUPER-GEL, внесенного в дозах 0,05, 0,1, 0,15, 0,20% от массы мелкозернистого египетского песка, было установлено увеличение запасов доступной для растений влаги на 117, 169, 212 и 410% соответственно (Teyel, El-Hady, 1981). При исследовании полимера Jalma в Саудовской Аравии было обнаружено, что его внесение в дозах 0,2–0,8% от массы аридного песка приводит к увеличению водоудерживающей способности песка и снижению потерь влаги при орошении (Al-Darby, 1996). Синтезированный египетскими учеными препарат RAPG (Reclaimer-Ameliorator Polymeric Gel), внесенный в песок в дозе 0,1%, способствовал улучшению его водно-физических свойств, при этом также повысилась микробиологическая активность и ионообменная способность песка до уровня окультуренной глинистой почвы долины Нила, увеличилась его водоудерживающая способность и улучшилось поглощение питательных веществ растениями. Степень набухания RAPG составляет около 750 г воды на 1 г сухого вещества. Оценка водоудерживающей способности была проведена по ОГХ (основная гидрофизическая характеристика). Установлено, что при  $rF = 2,4–2,6$  (доза RAPG-0,1%) происходит увеличение влагоемкости песка с 1,5–2% до 10–13% от массы почвы, а также повышаются микробиологическая активность (дыхание), азотфиксация и продуктивность растений (Azzam, 1985). При внесении гидрогелей в дозе 0,2–0,5% от массы почвы влага остается доступной в течение 10–20 дней при температуре 25°C. Можно сказать, что

полимерные гели выступают в качестве «искусственной» почвы, создавая оптимальные условия для воздухообмена и поглощения влаги в почве. Применение гидрогелей способствует удержанию в почве питательных веществ и препятствует коркообразованию (Науат, Али, 2004).

Целью данного исследования было сравнение гидрогелей отечественного производства Аквасин, Ритин-10, В-415 К и гидрогеля зарубежного производства AQUASORB при их использовании в качестве почвенной добавки для увеличения диапазона доступной влаги дерново-подзолистой супесчаной почвы.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись гидрогели Ритин-10, Аквасин, В-415 К отечественного производства и гидрогель AQUASORB зарубежного производства.

Гидрогель AQUASORB 3005 K4 – сшитый сополимер акриламида акрилата калия пропеновой кислоты (производство SNF s.a.s., Франция). Свойства гидрогеля описаны в работе (Данилова, Табынбаева, 2018). Гидрогель Аквасин – сшитый полимер акриловой кислоты на основе соли калия. Основные характеристики полимерного геля представлены в работе (Данилова, 2019). Гидрогель Ритин-10 –

сшитый полимер (натриевая основа). Его свойства и способ получения описаны в работе (Данилова, 2013). Гидрогель В-415 К — сшитый сополимер акриламида акриловой кислоты, калийная соль. Описание его свойств представлено в работе (Данилова, 2018). Методика определения полного потенциала влаги дерново-подзолистой почвы с гидрогелем и принцип работы психрометра рассмотрены ранее в статье (Данилова, Табынбаева, 2018).

Для эксперимента были отобраны образцы дерново-подзолистой супесчаной почвы (Агрофизический стационар Меньковского филиала ФГБНУ АФИ, Ленинградская область). Согласно Международной реферативной базе почвенных ресурсов (World Research Base), исследуемая почва относится к Umbric Albeluvisols.

Гранулометрический состав – супесь, почвообразующая порода – опесчаненная морена, подстилаемая суглинистой мореной. Суммарное содержание тонких фракций пыли и фракции ила не превосходит 6%. Физической глины (частиц меньше 0,01 мм) в почве содержится в среднем 5%, соответственно 95% составляют частицы физического песка (табл. 1). Плотность сложения почвы – 1,03–1,07 г см<sup>-3</sup>, удельная поверхность – 9,4–10,6 м<sup>2</sup> г, гигроскопическая влага – 0,54–0,55 % (табл. 2).

Таблица 1. Гранулометрический состав дерново-подзолистой супесчаной почвы (по данным К. Г. Моисеева и соавторов, 2013)

№ разреза	Горизонт	Мощность горизонта, см	Гранулометрический состав										
			Массовая доля фракций, %										
			> 10 мм	10–5 мм	5–3 мм	3–1 мм	1–0,5 мм	0,5–0,25 мм	0,25–0,1 мм	0,1–0,05 мм	0,05–0,01 мм	0,01–0,005 мм	< 0,005 мм
1	A <sub>пах</sub>	0–23	1,07	0,53	0,64	1,26	1,52	9,73	27,59	36,94	10,73	4,21	5,79
	A <sub>2</sub> Bg	23–43	0,27	0,91	1,62	3,47	2,35	8,38	21,60	22,43	4,80	1,62	2,01
	B	43–57	0,00	0,49	0,51	2,50	4,24	26,44	39,30	21,91	2,11	0,54	1,97
	BC	57–81	0,00	0,49	0,51	2,50	4,24	29,22	42,39	16,01	1,35	0,98	2,32
2	A <sub>пах</sub>	0–24	0,24	1,00	0,67	1,78	2,40	13,85	29,91	28,67	13,75	3,58	4,14
	A <sub>2</sub> Bg	24–49	0,97	1,20	1,18	2,46	1,91	11,57	20,94	16,10	9,58	2,89	1,57
	B	49–84	0,00	0,81	0,26	1,46	2,10	29,45	44,48	18,47	1,03	0,53	1,41

Таблица 2. Физические свойства пахотных горизонтов почвы (по данным К. Г. Моисеева и соавторов, 2013)

№ разреза	Горизонт, мощность, см	Гигроскопическая влага, %	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> г <sup>-1</sup>	Плотность сложения, г см <sup>-3</sup>	Плотность твёрдой фазы, г см <sup>-3</sup>
1	A <sub>пах</sub> . 0–23	0,55	10,6	1,07	2,54
2	A <sub>пах</sub> . 0–24	0,54	9,4	1,09	2,54

По физико-химическому состоянию можно судить, что почва является хорошо- и глубокогумусированной, в верхнем горизонте содержание гумуса составляет 2,95%. Сумма поглощенных оснований не превышает 6 мг экв<sup>-1</sup> на 100 г почвы. Органические вещества в виде гумуса

проникают на глубину до 40 см (за пределы гумусового горизонта). Реакция рН верхних слоёв почвы нейтральная и слабокислая, с глубиной понижается. Почва достаточно обеспечена фосфором и калием (табл. 3).

Таблица 3. Физико-химическая характеристика почвы. Разрез № 2. Дерново-слабоподзолистая супесчаная на морене (по данным К. Г. Моисеева и соавторов, 2013)

Горизонт	Мощность горизонта, см	Гумус, %	Сумма поглощённых оснований	Гидролитич. кислотность	рН <sub>ккл</sub>	К <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (по Кирсанову)
мг-экв. на 100 г							
A <sub>пах</sub>	0–10	2,95	6,09	5,13	4,95	29,49	13,9
A <sub>пах</sub>	10–20				5,05	34,29	17,89
A <sub>2</sub> B <sub>g</sub>	20–30	2,4	5,84	4,65	4,71	26,31	12,38
A <sub>2</sub> B <sub>g</sub>	30–35	1,53	3,03	3,92	5,03	15,52	12,44
A <sub>2</sub> B <sub>g</sub>	35–40	0,05	1,01	2,08	4,76	6,48	13,95
A <sub>2</sub> B <sub>g</sub>	40–50	–	1,11	1,56	4,85	5,05	19,46
B	50–60	–	0,81	1,21	4,7	6,49	9,43
B	60–70		1,21	1,23	4,7	8,18	15,17
B	70–80				4,35	16,3	10,74
B	80–90		4,87	2,1	4,28	16,32	7,36

Гидрогель вносился в образцы почвы в дозах: из расчета 100 кг га<sup>-1</sup> – 0,42 г; 300 кг га<sup>-1</sup> – 1,26 г. Образцы помещались в пластиковые кюветы (диаметр – 40 мм, высота – 10 мм), увлажнялись из расчета НВ = 24–25% – контроль, 100 кг га<sup>-1</sup> – 1,25 мл воды; 300 кг га<sup>-1</sup> – 1,5 мл воды. Для равномерного увлажнения образцы почв содержались в течение суток в закрытых кюветах. Полный потенциал влажности дерново-подзолистой супесчаной почвы определялся в трехкратной повторности на психрометре WP4-T.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакетов программ Microsoft Excel и Statistics 5.0. Статистический анализ результатов включал вычисление значений средних (*M*) и стандартных отклонений ( $\pm$ SD). Достоверность различий средних значений оценивалась с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) при  $p \leq 0,05$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Водоудерживающая способность почв характеризует доступность почвенной влаги для растений и обуславливает разработку и принятие ряда технологических решений в онтогенезе посева. Внесение гидрогеля в почву способствует увеличению диапазона доступной влаги (Данилова, 2013). Исследование водоудерживающей способности полимерных гелей дает возможность определить доступное для растений количество воды, содержащейся в геле, и с их помощью регулировать

водный режим почв, повышая запасы продуктивной влаги в условиях водного дефицита.

На рис. 1 (а, б, в, г) представлены кривые влагоудерживания образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении гидрогелей отечественного и зарубежного производства в дозах из расчета 100 кг га<sup>-1</sup> и 300 кг га<sup>-1</sup>.

Анализируя графические изображения, представленные на рис. 1 а, б, в, г, можно отметить, что при добавлении полимерного геля водоудерживающая способность почвы увеличилась пропорционально дозе внесенного геля. Принято считать, что НВ – влажность, соответствующая 0,33 атм, влажность устойчивого завядания растений (ВЗ) соответствует 15 атм. На графиках зависимости полного потенциала влажности почвы с гидрогелем ей соответствует 1,5 МПа. В контрольном варианте доступная влага составляла около 10%. При добавлении гидрогеля кривые влагоудерживания сместились относительно контроля в область повышенных значений полного потенциала почвенной влаги.

Наименьшая влагоемкость всех образцов дерново-подзолистой супесчаной почвы с добавлением гидрогеля достигала 15–20% и более по сравнению с контролем, где доступная влага составляла всего 8–10%, т. е. наблюдалось 2-кратное увеличение водоудерживания.

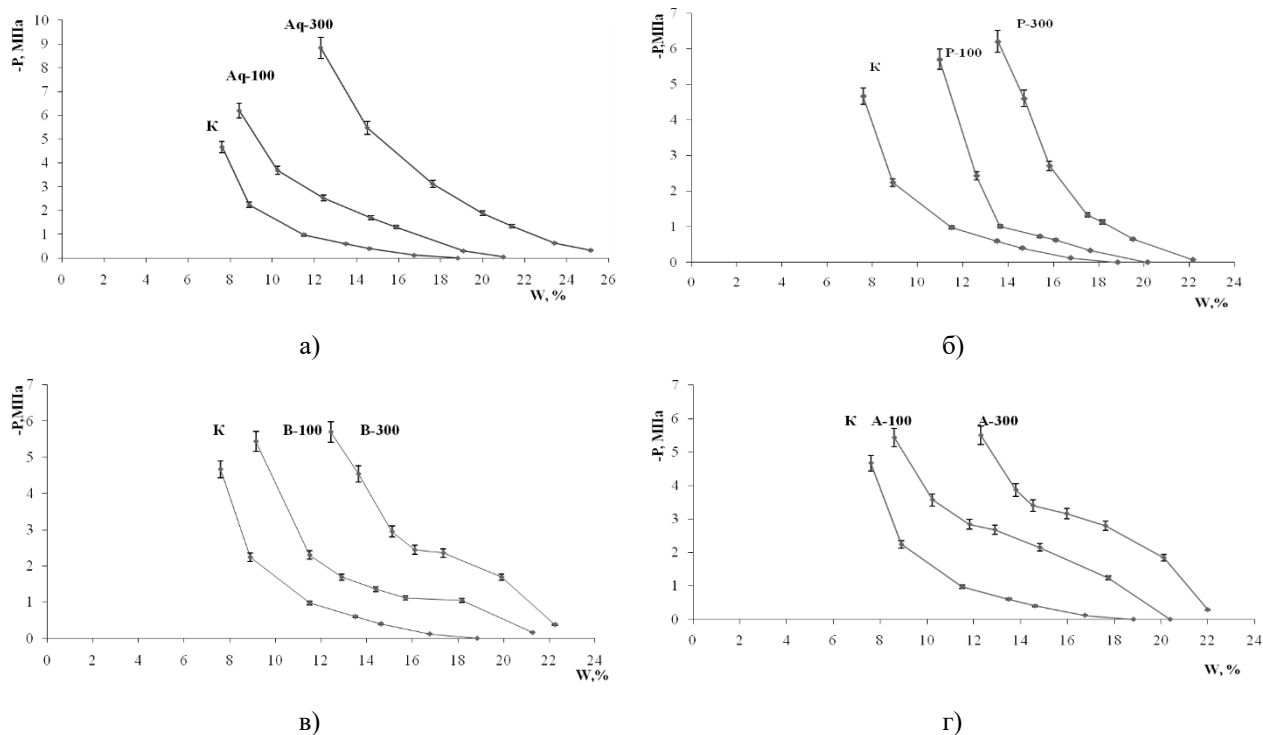


Рис. 1. Зависимость полного потенциала влаги дерново-подзолистой супесчаной почвы под воздействием полимерного геля:

К – контроль; 100 – образцы почвы с дозой внесения геля  $100 \text{ кг га}^{-1}$ ; 300 – образцы почвы с дозой внесения геля  $300 \text{ кг га}^{-1}$ . а) Аq — Aquasorb; б) Р – Ритин-10; в) В – В-415К; г) А – Аквасин.

Графическое изображение (рис. 1а) показывает, что в варианте с гидрогелем AQUASORB при дозе внесения  $100 \text{ кг га}^{-1}$  влагосодержание составило 15–21%. При внесении гидрогеля в дозе  $300 \text{ кг га}^{-1}$  влагосодержание увеличилось до 25,3%. В варианте с гидрогелем Ритин-10 (рис. 1б) влагосодержание составило 13–20% при дозе внесения  $100 \text{ кг га}^{-1}$  и увеличилось до 22,3% при дозе  $300 \text{ кг га}^{-1}$ . В варианте с гидрогелем В-415 К (рис. 1в) при внесении в дозе  $100 \text{ кг га}^{-1}$  содержание доступной влаги увеличилось с 13 до 21%, а при внесении в дозе  $300 \text{ кг га}^{-1}$  – до 22,5%. В варианте с гидрогелем Аквасин (рис. 1г) при внесении в дозе  $100 \text{ кг га}^{-1}$  диапазон доступной влаги составил 17–20,5%, а при внесении в дозе  $300 \text{ кг га}^{-1}$  влагосодержание увеличилось до 21–22%.

Статистический анализ показал достоверные ( $p \leq 0,05$ ) различия между зависимостью полного потенциала влаги в вариантах с гидрогелем и контрольном варианте. Внесение в почвенные образцы гидрогеля привело к достоверному ( $p = 0,05$ ) увеличению водоудерживающей способности дерново-подзолистой супесчаной почвы.

### ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что вода, поглощаемая гидрогелем, находится в диапазоне доступной для растений влаги (10–25%). Наибольшее влияние отечественных гидрогелей на

водоудерживающую способность образцов супесчаной дерново-подзолистой почвы было установлено при дозе внесения  $300 \text{ кг га}^{-1}$ . Диапазон продуктивной влаги (НВ-ВЗ) увеличился пропорционально НВ от 10% в контроле до 21–22,5% при дозе внесения гидрогеля  $300 \text{ кг га}^{-1}$ . Водоудерживающая способность отечественных гидрогелей оказалась незначительно ниже по сравнению с гидрогелем зарубежного производства AQUASORB, однако это не означает, что гидрогели отечественного производства менее эффективны при применении в современных агротехнологиях.

## Список литературы

- Данилова Т. Н. Влияние полимерного геля «Ритин-10» на водно-физические свойства почв // *Агрофизика*. 2013. № 2(10). С. 38–43.
- Данилова Т. Н., Табынбаева Л. К., Кененбаев С. Б., Бойко В. С. Роль абсорбента AQUASORB в повышении водоудерживающей способности почв // *Агрофизика*. 2018. № 2. С. 1–8.
- Данилова Т. Н. Полимерные гели для увеличения водоудерживающей способности почв // *Сб. трудов Всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы»*. М.: МГУ, 2019. С. 276–279.
- Моисеев К. Г., Гончаров В. Д., Зинчук Е. Г., Рижия Е. Я., Бойцова Л. В., Гурин П. Д., Старцев А. С., Пищик В. Н. База данных почвенного покрова Меньковского филиала ГНУ АФИ Россельхозакадемии (структура почвенного покрова, геоморфологическое строение, физические и геохимические свойства почв). Свидетельство о регистрации базы данных RU 2013620682. Заявка № 2013620301 от 22.03.2013.
- Нурьев Б. Н., Мирошник Л. С., Дубровский С. А., Казанский К. С. Факторы, определяющие влагоемкость Каракумского песка под влиянием гидрогелей. Ашхабад: Ылым, 1986. 62 с.
- Смагин А. В. Теория и практика конструирования почв. М.: МГУ, 2012. 544 с.
- Al-Darby A. M. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner // *Soil Technol.*, 1996, v. 9(1–2), pp. 15–28.
- Aslam M., Shahid A. Expansion repeatability of agricultural polymer in free water under wet–dry–wet cycles // *Pakistan J. Agric. Res.*, 1992, v. 2, pp. 171–179.
- Azzam R. A. Tailoring polymeric gels for soil reclamation and hydroponics // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1985, v. 16, no. 10, pp. 1123–1138.
- Gilbert C., Peter S., Wilson Ng., Edward M., Francis M., Sylvester K., Erick B. Effects of Hydrogels on Soil Moisture and Growth of *Cajanus cajan* in Semi Arid Zone of Kongelai, West Pokot County // *Open Journal of Forestry*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 34–37.
- Hayat R., Ali S. Water absorption and its effect on soil properties and tomato yield // *Int. J. Agri. Biol.*, 2004, v. 6, no. 6, pp. 998–1002.
- Teyel M. Y., El-Hady O. A. Super gel as a soil conditioner // *Acta Horticulture*, 1981, v. 119, pp. 247–256.

## References

- Danilova T. N. Vliyaniye polimernogo gelya «Ritin-10» na vodno-fizicheskiye svoystva pochv [Influence of polymer gel «Ritin-10» on water-physical properties of soils] // *Agrofizika*, 2013, no. 2 (10), pp. 38–43.
- Danilova T. N., Tabynbaeva L. K., Kenenbaev S. B., Boyko V. S. Rol' absorbenta AQUASORB v povyshenii vodouderzhivayushchey sposobnosti pochv [The role of AQUASORB absorbent in increasing the water retention capacity of soils] // *Agrofizika*, 2018, no. 2, pp. 1–8.
- Danilova T. N. Polimernyye geli dlya uvelicheniya vodouderzhivayushchey sposobnosti pochv [Polymer gels for increasing the water holding capacity of soils]. *Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem «Fundamental'nyye kontseptsii fiziki pochv: razvitiye, sovremennyye prilozheniya i perspektivy»* [Materials of the All-Russian Scientific Conference with International Participation «Fundamental Concepts of Soil Physics: Development, Modern Applications and Prospects»]. Moscow: MSU, 2019, pp. 276–279.
- Moiseev K. G., Goncharov V. D., Zinchuk E. G., Rizhiia E. Ia., Boitsova L. V., Gurin P. D., Startsev A. S., Pishchik V. N. *Baza dannykh pochvennogo pokrova Men'kovskogo filiala GNU AFI Rossel'khozakademii (struktura pochvennogo pokrova, geomorfologicheskoe stroenie, fizicheskie i geokhimicheskie svoystva pochv)*. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh RU 2013620682. Zaiavka № 2013620301 ot 22.03.2013. [Soil cover database of the Men'kovo branch of the ARI of the Russian Agricultural Academy (soil cover structure, geomorphological structure, physical and geochemical properties of soils)].
- Nuryev B. N., Miroshnik L. S., Dubrovskij S. A., Kazanskiy K. S. *Faktory, opredelyayushchiye vlagoyemkost' Karakumskogo peska pod vliyaniyem gidrogeley* [Factors determining the moisture capacity of the Karakum sand under the influence of hydrogels]. Ashkhabad: Ylym, 1986. 62 p.
- Smagin A. V. *Teoriya i praktika konstruirovaniya pochv* [Theory and practice of soil design]. Moscow: MSU, 2012, 544 p.
- Al-Darby A. M. The hydraulic properties of a sandy soil treated with gel-forming soil conditioner // *Soil Technol.*, 1996, v. 9(1–2), pp. 15–28.
- Aslam M., Shahid A. Expansion repeatability of agricultural polymer in free water under wet–dry–wet cycles // *Pakistan J. Agric. Res.*, 1992, v. 2, pp. 171–179.
- Azzam R. A. Tailoring polymeric gels for soil reclamation and hydroponics // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1985, v. 16, no. 10, pp. 1123–1138.
- Gilbert C., Peter S., Wilson Ng., Edward M., Francis M., Sylvester K., Erick B. Effects of Hydrogels on Soil Moisture and Growth of *Cajanus cajan* in Semi Arid Zone of Kongelai, West Pokot County // *Open Journal of Forestry*, 2014, v. 4, no. 1, pp. 34–37.
- Hayat R., Ali S. Water absorption and its effect on soil properties and tomato yield // *Int. J. Agri. Biol.*, 2004, v. 6, no. 6, pp. 998–1002.
- Teyel M. Y., El-Hady O. A. Super gel as a soil conditioner // *Acta Horticulture*, 1981, v. 119, pp. 247–256.