

Научная статья

УДК 691.175.5/.8 + 632.95

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>

## Комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых культур сельскохозяйственных растений

Александр Юрьевич Максимов<sup>1,2</sup>, Юлия Андреевна Дубасова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**Аннотация.** Предпосевная обработка семян культурных растений агрохимикатами позволяет в значительной степени снизить потери урожая. Перспективной технологией увеличения урожая яровых культур в засушливых зонах, характеризующейся дефицитом влаги в летний период, является подзимний посев. Однако данный способ несет риск больших потерь в результате преждевременного прорастания зерна в случае длительного сохранения положительных температур осенью либо сильных оттепелей. Специальные химические составы для обработки зерна могут предотвратить такие потери. Разработаны комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых от преждевременного прорастания и повреждения фитопатогенами. Показано, что композиции на основе поливинилацетатных дисперсий и полиакриламида наиболее эффективно предотвращают преждевременное прорастание зерен ячменя. В то же время обработка сополимером акриламида и акрилата в значительной степени снижала всхожесть растений. Показано, что при обработке зерен ячменя композициями на основе полисахаридов с фунгицидным препаратом, грибное поражение полностью отсутствует, при этом не происходит существенного ингибирования прорастания семян. Данный состав для обработки против грибковой порчи зерна и всходов представляется перспективным для практического применения.

**Ключевые слова:** агрохимикаты; полимерные композиции; полиакриламид; предпосевная обработка; фунгицид.

**Для цитирования:** Максимов А.Ю., Дубасова Ю.А. Комплексные полимерные препараты для защиты семян зерновых культур сельскохозяйственных растений // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2023. Т. 13, № 4. С. 224–233. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>

## Complex polymer preparations for the protection of seeds of grain crops of agricultural plants

Aleksandr Y. Maksimov<sup>1,2</sup>, Yulia A. Dubasova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Perm Federal Research Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm State University, Perm, Russia

**Abstract.** Pre-sowing treatment of seeds of cultivated plants with agrochemicals can significantly reduce crop losses. A promising technology for increasing the yield of spring crops in arid zones characterized by moisture deficiency in the summer is winter sowing. However, this method carries the risk of large losses as a result of premature germination of grain in the event of prolonged positive temperatures in the fall or severe thaws. Special grain processing chemicals can prevent such losses. Complex polymer preparations have been developed to protect grain seeds from premature germination and damage by phytopathogens. It has been shown that compositions based on polyvinyl acetate dispersions and polyacrylamide most effectively prevent premature germination of barley grains. At the same time, treatment with a copolymer of acrylamide and acrylate significantly reduced plant germination. It has been shown that when barley grains are treated with compositions based on polysaccharides with a fungicidal preparation, fungal infection is completely absent, and there is no significant inhibition of seed germination. This composition for treatment against fungal spoilage of grain and seedlings seems promising for practical use.

**Key words:** agrochemicals, polymer compositions, polyacrylamide, pre-sowing treatment, fungicide

**For citation:** Maksimov, A.Yu. and Dubasova, Yu. A. (2023) “Complex polymer preparations for the protection of seeds of grain crops of agricultural plants”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 13, no. 4, pp. 224–233. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-224-233>.



Предпосевная обработка семенного материала сельскохозяйственных растений является необходимым агротехническим приемом, позволяющим многократно снизить потери урожая от фитопатогенных инфекций и различных неблагоприятных факторов. Разработка таких составов является важнейшей наукоемкой областью агрохимии [1,2].

Полимерные гидрогели – распространенные материалы, обладающие способностью сорбировать и удерживать большое количество воды. Все гидрогели по своей структуре представляют собой гидрофильные полимеры, несущие диссоциирующие или полярные в водной среде химические группы, способные к ионной гидратации. В частности, в технической химии и медицине применяются гидрогели на основе как природных полимеров (в частности, полисахаридов), так и синтетических материалов, полученных на основе полимеризации и сополимеризации акриловых, виниловых, стирольных, гуанидиновых и других мономеров [2–4]. Из биогенных полимеров наиболее востребованы материалы на основе полисахаридов – целлюлозы и крахмала, нередко химически модифицированных, например путем карбоксиметилирования. Синтетические гидрогели на практике преимущественно представлены поперечносшитыми акриловыми полимерами и сополимерами. Последний вид полимеров обладает наиболее высокой, по сравнению с другими материалами, способностью к сорбции водных растворов и биологических жидкостей. Гидрогели акриловой природы являются актуальным предметом исследования, в связи с их частым использованием в различных сферах деятельности. Они нашли широкое применение в медицине, сель-

ском хозяйстве, фармакологии, биохимии и др. [2–6].

Степень набухания полимерных гидрогелей зависит от природы макромолекул, природы и количества гидрофильных и ионогенных групп, степени сшивания, а также от физических и физико-химических условий процесса сорбции: температуры, рН и ионной силы раствора, количества и природы растворенных низкомолекулярных соединений [2–5].

Для практики имеет значение срок службы полимерных материалов в среде использования. Гидрогели могут быть либо химически стойкими, либо достаточно быстро деполимеризоваться и растворяться. Для решения конкретных технических задач полимерные материалы могут быть получены в различных физических формах, таких как гранулы, волокнистые материалы, пластины, микро- и наночастицы, покрытия или пленки. Условия синтеза акриловых полимеров позволяют получать материалы с широким спектром физических и физико-химических свойств. Известно, что у поперечносшитых гидрогелей с увеличением степени сшивки снижается способность к набуханию и скорость набухания вследствие стабилизирующего влияния сшивки на пространственную структуру полимера, физически ограничивающего возможность увеличиваться в размерах при впитывании воды. С другой стороны, увеличение степени сшивки ведет к улучшению упруго-механических и прочностных свойств частиц гидрогеля [2–5].

Важной сферой практического применения гидрогелей является растениеводство. Препараты на основе гидрогелей используются в качестве влагоудерживающих средств, а также перспективны в качестве полимерной основы, для

включения биологически-активных веществ (фитопротекторов, стимуляторов роста, элементов питания), обладающей эффектом дозирования [2, 4–10].

Перспективными направлениями в сфере агрохимии и сохранения сельскохозяйственного сырья является разработка комплексных препаратов на полимерной основе. В настоящее время разрабатываются многокомпонентные системы и композиты на основе акрилового гидрогеля, что может существенно расширить возможности использования этих материалов при производстве агрохимикатов [2,4, 11–15].

Пшеница, рожь и ячмень, являются важнейшими традиционно возделываемыми в России основными зерновыми культурами. Для защиты зерна и всходов от инфекционных агентов и неблагоприятных факторов могут быть использованы различные виды предпосевной обработки семян. в частности: дражирование, инкрустация, гидрофобизация, протравливание семян [16]. Климатические условия зоны произрастания влияют продуктивность данных культур. Отличительной особенностью семян озимых сортов является их ранняя всхожесть. Высеванные до наступления зимних холодов, озимые культуры приобретают устойчивость к низким температурам и переживают зиму под снежным покровом. С наступлением тепла озимые зерновые культуры продолжают свой жизненный цикл и созревают раньше яровых, дают более высокие урожаи, что связано с морозоустойчивостью и обильным количеством влаги, образующейся при таянии снежного покрова. Однако в переходные периоды посевной материал особенно чувствителен к повреждающим воздействиям и предпосевная обработка зерна озимых культур позволяет повы-

сить их урожайность [17]. В степной зоне с засушливым летним климатом количество доступной влаги в летний период сокращается на порядки по сравнению с весенним. Дефицит влаги также наблюдается в отдельные годы в лесостепной и лесной зонах. Исходя из прогнозов глобального потепления и из динамики снижения в последние годы количества осадков в летний период в средней полосе России, увеличивается актуальность разработки рациональных технологий использования весенней влаги. В частности, существует агротехника подзимнего посева яровых зерновых культур, связанная с засевом полей уже в холодное время, когда зерно яровых культур уже не может перейти в стадию вегетации до наступления оттепели [18]. Однако, в связи с учащением случаев позднеосенних и зимних оттепелей, применение данной технологии ассоциировано с риском преждевременного прорастания и вымерзания всходов яровых культур. Также серьезным фактором риска гибели всходов является развитие фитопатогенов.

Целью данного исследования является разработка полимерных композиций как основы для предпосевной обработки семян зерновых культур, в частности, высеваемых под зиму.

#### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования являются полимерные композиции для обработки семенного материала зерновых культур на основе поперечносшитых полимеров и сополимеров акриламида и акрилата крахмала, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), поливинилацетата.

Синтез акриловых полимеров осуществляли методом радикальной полимеризации мономеров – акриламида и акрилата натрия в водном растворе. В качестве инициаторов полимериза-

ции использовали персульфат калия (ПСК) и тетраметилэтилендиамин (ТЕМЕД). В качестве сшивающего агента использовали N,N'-метиленабисакриламид (МБАА). Реакцию проводили в общем объеме 300 мл следующим образом: дозировали акриламид и/или акрилат натрия из чистых мономеров или заранее приготовленных стоковых водных растворов (35% акриламид и 20% акрилат натрия) в соответствии с условиями эксперимента, добавляли воду

до требуемого объема. Раствор дегазировали вакуумированием в течение 10 минут при остаточном давлении 2 Па. Добавляли инициаторы полимеризации – ПСК и ТЕМЕД, перемешивали, проводили полимеризацию в течение суток до наиболее полного протекания процесса.

Для исследования синтезировали 5 вариантов поперечносшитых акриловых полимеров с разным процентным соотношением акриламида (АА) и акрилата натрия (АкNa), табл. 1.

Таблица 1

**Варианты поперечно-сшитых акриловых полимеров (АП)**

Образец	АП 1	АП 2	АП 3	АП 4	АП 5
Акриламид, %	15	10	7,5	5	0
Акрилат натрия, %	0	5	7,5	10	15
N, N'-метиленабисакриламид, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Время гелеобразования, мин	1	5	10	12	60

Полученные гидрогели вследствие низкой концентрации поперечносшивающего агента (0,1%) представляли собой вязкие субстанции, пригодные для нанесения на поверхность зерна.

Обработку семян акриловыми гидрогелями, поливинилацетатной дисперсией или растворами полисахаридов проводили путем их смешивания с полимерным составом в массовом соотношении 1 : 20 и подсушивания при постоянном перемешивании на ротаторе в пробирках, объемом 50 мл, закрытых полимерной сеткой, в течение 30 минут. В результате образовывался равномерно распределенный полимерный слой средней толщиной 25–60 мкм, в зависимости от вязкости суспензии. После нанесения зерно досушивали на воздухе в течение двух часов. Для модельных опытов по обработке семян использовали зерно ярового ячменя сорта «Родник Прикамья» урожая 2022 года (ПНИИСХ).

Для получения комплексных препаратов с фунгицидными свойствами в качестве противо-

грибкового средства использовали новый фунгицидный препарат 4,4,4-трихлор-1-(4-хлорфенил)бутан-1,3-дион (инканон), обладающий широким спектром противогрибковой активности. Структура синтезированного соединения была ранее подтверждена с помощью методов физико-химического анализа: данными ИК-, <sup>1</sup>H ЯМР-, <sup>13</sup>C- ЯМР-спектроскопии, методом рентгеноструктурного анализа. Препарат представляет собой бесцветный кристаллический порошок, практически нерастворим в воде, хорошо растворим в хлороформе, хлористом метиле, ацетоне, ДМСО, ДМФА, при нагревании в гексане, этаноле. Ранее определены молекулярные механизмы противогрибкового действия исследуемого соединения: мембранотропное действие, повышение проницаемости клеточной оболочки, а также показана возможность предпосевной обработки этим соединением семян томатов. Так как инканон является гидрофобным соединением, для при-

готовления комплексных препаратов на основе полимеров с инканоном, последний растворяли в ацетоне, после чего добавили воду до требуемого объема. Для приготовления калиевой соли брали навеску 0,9 г инканона, к нему добавляли 0,33 г гидроксида калия. Смесь растворяли в 8 мл ацетона, добавляли воду до объема 10 мл. Для получения комплексного препарата смешивали водный коллоидный раствор полисахарида (10% крахмала или 5% карбоксиметилцеллюлозы) и инканон в конечной концентрации 1,5 ммоль/л.

### Результаты и их обсуждение

Выбор материала покрытия в значительной степени зависит от поставленных для него задач и климатических условий места проращивания семян. Задачей настоящей работы является разработка композиций для защитного покрытия семян зерновых для преимущественного использования на Урале, в частности в Пермском крае и Курганской области. Для климата Пермского края характерны большие сезонные и годовые колебания уровня увлажнения почвы. В последний год в крае наблюдался значительный дефицит осадков в летний период. Для Курганской области характерны частые условия засухи, дефицит осадков, низкая влажность воздуха летом и переувлажнение в позднеосенний период. Также характерно наличие заморозков даже в период поздней

весны и лета. Поэтому важно обеспечить дозированное проникновение воды к зерну, защиту от грибковых фитопатогенов, стрессоустойчивость и стимуляцию роста растений.

Для получения полимерных композиций использовали следующие нативные и модифицированные природные полимеры: растворимый крахмал и карбоксиметилцеллюлозу, синтетические акриловые полимеры и поливинилацетат. Полиакриламид и акриловые сополимеры готовили в виде 15%-ного геля. Поливинилацетат – готовили в виде 20%-ной и 40%-ной эмульсии путем разведения промышленной непластифицированной дисперсии марки Д 50Н (ГОСТ 18992-80) с содержанием полимера 50%. Карбоксиметилцеллюлозу использовали в виде 5 %-ного раствора, приготовленного из сухого порошка. Растворимый крахмал использовали в форме 10%-ной суспензии, приготовленной из сухого порошка

*Определение влияния акриловых полимеров и поливинилацетатной дисперсии на прорастание ячменя.* Для каждой исследованной композиции проводили обработку зерен ячменя, взятых в количестве 20 г. Из обработанного зерна брали по 3 грамма на опытные варианты (табл. 2). Определяли количество проросших зерен через 14 и 30 суток инкубации при 25° и 5°С в условиях увлажнения.

Таблица 2

### Определение влияния акриловых полимеров и поливинилацетатной дисперсии на прорастание ячменя

Доля проросших семян, %	Вариант опыта							
	Контроль	АП1	АП2	АП3	АП4	АП5	20% ПВА	40% ПВА
через 14 сут, при 25°С	82,3±1,9	6,7±1,2	6,2±0,9	4,6±1,1	4,0±1,3	3,5±0,9	62,5±7,5	58,5±4,7
через 14 сут, при 5°С	44,0±0,6	0	0	0	0	0	1,2±0,6	1,1±0,6
через 30 сут, при 5°С	70,2±2,3	2,4±1,2	1,7±0,8	1,4±0,5	1,1±0,7	0,8±0,4	45,7±8,2	41,5±8,1

Показано, что при 5°C зерна, обработанные сополимером акриламида и акрилата, не проросли ни в одном варианте. При обработке поливинилацетатом при 5°C прорастания зерна не произошло, но при 25° доля проросших семян составила 62,5 и 58,5 для 20 %-ной и 40 %-ной концентрации, соответственно.

*Определение влияния нескольких видов покрытий на прорастание ячменя в долговременном эксперименте.* Определяли результаты влияния данных видов обработки на всхожесть семян при 25°C через 7, 14 и 30 сут, после хранения в течение 60 сут при минус 12° и после-

дующего замачивания в течение 14 сут при 25°C, а также при 5°C через 1 месяц хранения (табл. 3).

Как видно из табл. 3, максимальная всхожесть наблюдалась в вариантах без обработки и с обработкой карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ). Также высокие показатели всхожести были в вариантах АП1, 5 мл 20% ПВА + 1 мл льняного масла и 5 мл 40% ПВА + 1 мл льняного. В варианте АП3 наблюдалось значительное угнетение всхожести. Варианты АП1, 3 и 4 также обеспечивали необходимую задержку прорастания в течение первой недели.

Таблица 3

**Определение влияния нескольких видов покрытий на прорастание ячменя в долговременном эксперименте**

Доля проросших семян, %	Вариант опыта*					
	К	АП1	АП3	3	4	5
при 25°C через 7 сут	76	6	0	6	3	36
при 25°C через 14 сут	78	39	4	52	61	55
при 25°C через 30 сут	78	66	24	71	65	78
при 25°C после хранения в течение 60 сут при минус 12° и последующего замачивания в течение 14 сут	67	65	27	64	62	58
при 5°C через 1 месяц	9	2	0	18	14	48
Максимальный процент всхожести	78	66	38	71	65	58

\* К – контроль семян без обработки; 3 – 5 мл 20% ПВА + 1 мл льняного масла; 5 – 5 мл 40% ПВА + 1 мл льняного; 6 – 5 мл 10% КМЦ (расчет на 100 семян)

*Обработка семян ячменя препаратом на основе полисахаридов с фунгицидным агентом.* Проблемой для семян в период хранения и прорастания является поражение грибами-микросциетами, вызывающими гибель семян и всходов. В связи с этим получены 4 вида покрытий

на основе природного полисахарида – крахмала и химически модифицированного полисахарида – карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). В качестве фунгицида взят противогрибковый препарат инканон. Варианты обработки и полученные результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4

**Обработка семян ячменя препаратом на основе полисахаридов с фунгицидным агентом**

Вариант опыта*	1	2	3	4
Количество зерен, шт	60	58	55	58
Количество проросших зерен через 14 сут при 25°C, шт	23	18	27	17
% проросших зерен	38	31	49	29

\*1 – Крахмал 10% + 1,5 мМ инканон, водорастворимая калиевая соль; 2 – Крахмал 10% + 1,5 мМ инканон; 3 – КМЦ 5% + 1,5 мМ инканон, водорастворимая калиевая соль; 4 – КМЦ 5% + 1,5 мМ инканон

Как видно из табл. 4, в условиях данного опыта не происходит существенного ингибирования прорастания семян. При этом грибное поражение зерна полностью отсутствовало.

#### **Заключение**

В результате радикальной полимеризации получены 5 вариантов гидрогеля из которых для обработки семян выбрали варианты, содержащие 7,5% АА+7,5% АкНа и 5% АА+10% АкНа, наиболее подходящие по времени гелеобразования.

Показано, что в процессе инкубации увлажненного зерна при 5°C зерна, обработанные сополимером акриламида и акрилата не проросли в течение 14 суток ни в одном варианте. При обработке ПВА при 5°C существенного прорастания зерна не происходило, но при 25° доля проросших семян составила 62,5 и 58,5 для 20% и 40% концентрации, соответственно. В долговременном эксперименте показано, что высокие показатели всхожести наблюдаются в вариантах с 15% акриламида с 0,005% сшивки; с 20%- ПВА + 1 мл льняного масла; с 40%- ПВА + 1 мл льняного масла. Установлено, что эти же варианты обеспечивали необходимую задержку прорастания в течение первой недели. Таким образом обработка поливинилацетатной дисперсией в комплексе с льняным маслом в качестве гидрофобизатора представляется

предпочтительной для предохранения зерна от преждевременного прорастания без существенного снижения всхожести семян.

Установлено, что обработка сополимером акриламида и акрилата в значительной степени снижала всхожесть во всех вариантах инкубации. В частности, в варианте с обработкой сополимером 7,5%-АА +7,5 АкНа наблюдалось значительное угнетение всхожести. Показано, что при обработке семян композициями на основе полисахаридов с фунгицидным препаратом – инканонем, грибное поражение зерна полностью отсутствует, при этом не происходит существенного ингибирования прорастания семян. Поэтому данный способ обработки против грибковой порчи зерна и всходов представляется эффективным для практического применения.

#### **Финансирование**

Работа выполнена при поддержке государственного задания, номер государственной регистрации НИОКТР 122031100058-3, в части эксперимента обработки и тестирования семян в условиях светокультуры. В части получения полимерных покрытий работа поддержана в рамках государственного задания НИОКТР 122010800029-1.

#### **Благодарности**

Выражаем благодарность Н.Ю. Лисовенко за синтез и предоставление препарата инканон.

#### **Список источников**

1. Волхонов М.С., Мамаева И.А., Беляков М.М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Вестник НГИЭИ. 2022. Вып. 8 (135). С. 7–19. <https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-8-7-19>.
2. Максимова Ю.Г., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Полимерные гидрогели в сельском хозяйстве (Обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 1. С. 23–42. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.23rus>.

3. Мужайло Е.В., Волкова Д.С., Стороженко С.Е. Применение полимеров акриловой и метакриловой кислот в технологии получения мягких лекарственных форм // Лесной и химический комплексы – проблемы и решения. Сборник материалов по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2022. С. 456–458.
4. Будников В.И., Синкин В.В., Стрельников В.Н. Исследование водосорбционных характеристик наполненных акриловых сополимеров // Журнал прикладной химии. 2010. Т. 83, № 8. С. 1284–1287.
5. Байбурдов Т.А., Шиповская А.Б. Синтез, химические и физико-химические свойства полимеров акриламида. Саратов, 2014. 67 с.
6. Данилова Т.Н., Табынбаева Л.К. Полимерные гели для управления водообеспеченностью пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в разных экологических условиях // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, №. 1. С. 76–83. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.76rus>.
7. Данилова Т.Н., Аннабаева А.В. Возможности применения полимерных гелей для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур // Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар, 2020. С. 540–542.
8. Данилова Т.Н. Влияние полимерных гелей на диапазон доступной влаги дерново-подзолистой почвы // Агрофизика. 2020. №. 3. С. 17–22. <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.03.03>.
9. Данилова Т.Н., Хомяков Ю.В., Конончук П.Ю. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы при мелиоративном внесении гидрогелей // Вестник защиты растений. 2021. Т. 104, №. 2. С. 97–104. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-2-13961>.
10. Старовойтова О.А. Влияние водных абсорбентов на урожайность картофеля и содержание влаги в почве // Агроинженерия. 2018. №. 2 (84). С. 12–18. <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-2-12-18>.
11. Smagin A.V., Budnikov V.I., Sadovnikova N.B. Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability // *Polymers*. 2022. Vol. 14. ID 4665. <https://doi.org/10.3390/polym14214665>
12. Смагин А.В., Колганихина Г.Б., Васенев В.И. и др. Гель-серебряные композиции для ризосферы: лабораторное тестирование антимикробных свойства // Агрохимия. 2018. № 5. С. 25–32. <https://doi.org/10.7868/S0002188118050046>
13. Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Демаков В.А. и др. Влияние гидрогелей полиакриламида на микрофлору почвы // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2010. № 1. С. 45–49.
14. Sikder A., Pearce A.K., Parkinson S.J. et al. Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications // *ACS Applied Polymer Materials*. 2021. Vol. 3. P. 1203–1217. <https://doi.org/10.1021/acsapm.0c00982>.
15. Singh N., Agarwal S., Jain A. et al. 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom // *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 253. ID 106939. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106939>.



16. Калашиников К.Я. Протравливание семян сельскохозяйственных культур. Л.: Сельхозиздат, 1961. 84 с.

17. Политыко П.М., Парыгина М.Н., Вольпе А.А. и др. Защита озимых культур осенью // Защита и карантин растений. 2008. №8.Р. 20–22.

18. Халин А.В., Бакиров Ф.Г., Нестеренко Ю.М. Подзимний посев яровой пшеницы в степной зоне Южного Урала // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2019. № 4. С. 1–9. <https://doi.org/10.24411/2304-9081-2019-15009>.

### Информация об авторах

**Максимов Александр Юрьевич**, кандидат биологических наук, доцент, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), [almaks1@mail.ru](mailto:almaks1@mail.ru)

**Дубасова Юлия Андреевна**, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник, Лаборатория агробиофотоники Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (614600, г. Пермь, ул. Ленина, 13), [pavlova\\_ua@mail.ru](mailto:pavlova_ua@mail.ru)

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

*Поступила 22 ноября 2023 г; принята к публикации 6 декабря 2023 г.*

### References

1. Volkhonov, M.S., Mamaeva, I.A. and Belyakov, M.M. (2022) Classification and determination of the effectiveness of known methods of pre-sowing seed treatment, *Bulletin of NGIEI*, is. 8, pp. 7–19. (In Russ.).
2. Maksimova, Yu.G., Shchetko, V.A. and Maksimov, A.Yu. (2023) Polymer hydrogels in agriculture (Review), *Agricultural Biology*, vol. 58, no. 1, pp. 23–42. (In Russ.).
3. Muzhailo, E.V., Volkova, D.S. and Storozhenko, S.E. (2022) Application of polymers of acrylic and methacrylic acids in the technology of obtaining soft dosage forms, In *Lesnoy i khimicheskiy komplekсы – problemy i resheniya. Sbornik materialov po itogam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Krasnoyarsk, pp. 456–458. (in Russ.)
4. Budnikov, V.I., Sinkin, V.V. and Strelnikov, V.N. (2010) Study of water sorption characteristics of filled acrylic copolymers, *Journal of Applied Chemistry*, vol. 83, no. 8, pp. 1284–1287. (in Russ.).
5. Bayburdov, T.A. and Shipovskaya, A.B. (2014) *Synthesis, chemical and physicochemical properties of acrylamide polymers*, Saratov. (In Russ.).
6. Danilova, T.N. and Tabynbaeva, L.K. (2019) Polymer gels for controlling the water supply of wheat (*Triticum aestivum* L.) in different environmental conditions, *Agricultural Biology*, vol. 54, no. 1, pp. 76–83. (In Russ.).
7. Danilova, T.N. and Annabaeva, A.V. (2020) Possibilities of using polymer gels to increase the productivity of agricultural crops, In *Agrarnyye landshafty, ikh ustoychivost' i osobennosti razvitiya. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii*, Krasnodar. pp. 540–542. (In Russ.).

8. Danilova, T.N. (2020) Influence of polymer gels on the range of available moisture in soddy-podzolic soil, *Agrophysics*, no. 3, pp. 17–22. (In Russ.).
9. Danilova, T.N., Khomyakov, Yu.V. and Kononchuk, P.Yu. (2021) Biological activity of sod-podzolic sandy loam soil with reclamation application of hydrogels, *Bulletin of Plant Protection*, vol. 104, no. 2, pp. 97–104. (In Russ.).
10. Starovoitova, O.A. (2018) The influence of water absorbents on potato yield and soil moisture content, *Agroengineering*, no. 2, pp. 12–18. (in Russ.)
11. Smagin, A.V., Budnikov, V.I. and Sadovnikova, N.B. (2022) Gel-forming soil conditioners of combined action: laboratory tests for functionality and stability, *Polymers*, vol. 14, ID 4665.
12. Smagin, A.V., Kolganikhina, G.B., Vasenev, V.I., Smagina, M.V., Sadovnikova, N.B. and Budnikov, V.I. (2018) Gel-silver compositions for the rhizosphere: laboratory testing of antimicrobial properties, *Agrochemistry*, no. 5, p. 25–32.
13. Maksimova, Yu.G., Maksimov, A.Yu., Demakov, V.A. and Budnikov, V.I. (2010) The influence of polyacrylamide hydrogels on soil microflora, *Bulletin of Perm University. Biology*, no. 1, pp. 45–49. (In Russ.)
14. Sikder, A., Pearce, A.K., Parkinson, S.J., Napier, R. and O'Reilly, R.K. (2021) Recent trends in advanced polymer materials in agriculture related applications, *ACS Applied Polymer Materials*, vol. 3, pp. 1203–1217.
15. Singh, N., Agarwal, S., Jain, A. and Khan, S. (2021) 3-Dimensional cross linked hydrophilic polymeric network “hydrogels”: An agriculture boom, *Agricultural Water Management*, vol. 253, ID 106939.
16. Kalashnikov, K.Ya. (1961) *Treating seeds of agricultural crops*, Leningrad, Selhoziadat. (In Russ.)
17. Polityko, P.M., Parygina, M.N., Volpe, A.A. and Prokopenko, A.G. (2008) Protection of winter crops in autumn. *Protection and quarantine of plants*, no. 8, pp. 20–22. (in Russ.).
18. Khalin, A.V., Bakirov, F.G. and Nesterenko, Yu.M. (2019) Pre-winter sowing of spring wheat in the steppe zone of the Southern Urals. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, no. 4, pp. 1–9.

#### Information about the authors

**Aleksandr Yu. Maksimov**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Perm State University (15, Bukireva st., Perm, Russia, 614068), almaks1@mail.ru.

**Yulia A. Dubasova**, Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (13, Lenina st., Perm, Russia, 614600), pavlova\_ua@mail.ru

#### Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

*Submitted 22 November 2023; accepted 6 December 2023*