

ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТОПЫРАҒЫНДА ЫЛҒАЛДЫҢ БӨЛІНУІН РЕТТЕУГЕ АРНАЛҒАН БИОЫДЫРАЙТЫН ТЕРМОСЕЗІМТАЛ ГИДРОГЕЛЬДІ ЗЕРТТЕУ

Азимов А.М.¹, PhD

azimov-78@mail.ru, <http://orchid.org/0000-0002-1316-5854>

Изтлеуов Г. М.^{1*}, химия ғылымдарының кандидаты

gani5@mail.ru, <http://orchid.org/0000-0002-5722-342X>

Ертаева Ж.Т.², PhD

jain_0404@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8848-6794>

Болысбек А. А.¹, техника ғылымының кандидаты

aidarali@mail.ru, <http://orchid.org/0000-0001-8708-2608>

¹*М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан*

²*Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан*

Аңдатпа. Қазіргі климаттық өзгерістер мен қуаңшылықтың жиілеуі жағдайында агроөнеркәсіп кешенінің алдында тұрған негізгі мәселелердің бірі – су ресурстарын тиімді пайдалану болып табылады. Осы зерттеудің мақсаты – Шығыс Қазақстанның қуаң аймақтарында топыраққа енгізілетін гидрогель мөлшерінің топырақтың ылғал сақтау қабілетіне, өсімдіктің өсуіне және жаздық бидай өнімділігіне әсерін тәжірибелік тұрғыда бағалау. Бұл жұмыста гидрогельдерді Қазақстанның құрғақ климаттық жағдайында ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігін арттыруға бағытталған су үнемдеу технологиясы ретінде қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Далалық және зертханалық зерттеулер нәтижесінде гидрогельдерді 25–30 кг/га мөлшерінде қолдану топырақтағы ылғал режимін жақсартып, өсімдіктердің тамыр жүйесінің дамуын күшейтетіні және құрғақшылық стрессіне төзімділікті арттыратыны анықталды. Гидрогельдің оңтайлы мөлшері өнім көлемін едәуір көбейтіп, су шығынын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл аймақтың агроөнеркәсіп саласының тұрақты дамуы үшін аса маңызды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, дайындалған гидрогельдер ылғалды тек сақтап қана қоймай, оны өсімдік тамыры орналасқан аймақта біртіндеп бөліп шығарады. Соның арқасында өсімдіктердің суға қолжетімділігі артады. Өзірленген технологияны енгізу топырақ бетінен ылғалдың физикалық булануын 3,6–3,8%-ға дейін төмендетіп, суару суын тиімді пайдалануға мүмкіндік берді. Соның нәтижесінде тамыр аймағындағы ылғал мөлшері 3,2–3,6%-ға артып, өсімдіктердің сумен қамтамасыз етілуі жақсарды. Жалпы алғанда, суару суын үнемдеу деңгейі 50%-ға дейін жетті, бұл су ресурстары шектеулі аймақтар үшін аса маңызды нәтиже болып табылады. Бұл гидрогель негізіндегі жүйелердің әмбебап әрі ауыл шаруашылығында қолдануға тиімді технология екенін дәлелдей.

Тірек сөздер: гидрогель, биоыдырайтын, ылғалды сақтау, термосезімтал, суармалы егіншілік, Шығыс Қазақстан.

Кіріспе. Қазіргі ауыл шаруашылығы жаһандық климаттық өзгерістер мен жергілікті су пайдалану ерекшеліктерінен туындаған су тапшылығы жағдайында дамып келеді. Құрғақ кезеңдердің жиілігі мен ұзақтығының артуы, орташа тәуліктік температураның жоғарылауы және азық-түлікке деген сұраныстың көбеюі ресурсты үнемдейтін инновациялық технологияларды әзірлеу мен енгізуді талап етеді [1,2]. Осындай тиімді шешімдердің бірі – ылғалды өз көлемінен бірнеше есе артық сіңіріп, топырақта өзіндік «су қоймасы» қызметін атқаратын полимерлі гидрогельдерді қолдану [3,4].

Гидрогельдер артық ылғал кезеңінде суды жинақтап қана қоймай, оны өсімдіктердің тамыр аймағына біртіндеп бөліп шығарады. Бұл өсімдіктердің су тапшылығынан туындайтын күйзелісін азайтуға мүмкіндік береді [5,6]. Мұндай қасиет су қоры тұрақсыз

аймақтар үшін аса маңызды, себебі ылғалдың едәуір бөлігі булану және топырақтың терең қабаттарына сіну арқылы жоғалады [7,8].

Әсіресе биологиялық ыдырайтын, температураға сезімтал гидрогельдер ерекше қызығушылық тудырады. Дәстүрлі синтетикалық полимерлерден айырмашылығы, олар экологиялық тұрғыдан қауіпсіз, топырақ микрофлорасы мен агрохимиялық тепе-теңдікке кері әсер етпейді [9,10]. Сонымен қатар, олар топырақтың температурасы мен ылғалдылығына байланысты суды бөлу қарқынын реттей алады. Мұндай бейімделгіштік оларды құрғақ аймақтарда қолдануға өте қолайлы етеді, өйткені мұнда микроклиматтық жағдайлардың өзгеруі ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігіне айтарлықтай әсер етеді [11,12,13].

Әлемде гидрогельдерді ауыл шаруашылығында пайдалану тәжірибесі қарқынды дамып келе жатқанымен, Қазақстандағы осы бағыттағы зерттеулер әлі бастапқы кезеңде және аймақтық климаттық әрі топырақтық ерекшеліктерді ескере отырып ғылыми негіздеуді қажет етеді. Суармалы егіншілік азық-түлік қауіпсіздігінің негізгі факторы болып саналатын Шығыс Қазақстан инновациялық су үнемдеу технологияларын енгізуге қолайлы өңір болып табылады [14,15].

Осы жұмыстың мақсаты – Шығыс Қазақстанның суармалы егіншілігінде өсімдіктерге судың қолжетімділігін арттыру, топырақтың су режимін оңтайландыру және суару мөлшерін азайту үшін биологиялық ыдырайтын термосезімтал гидрогельді әзірлеп, оның тиімділігін зерттеу.

Зерттеу материалдары мен әдістемесі. Зерттеу аймағының сипаттамасы.

Далалық зерттеулер 2023-2025 жылдың сәуір–маусым айлары аралығында Шығыс Қазақстан облысының суармалы егіншілік аймақтарында жүргізілді. Бұл өңір климаттық айырмашылықтар мен жерді пайдалану ерекшеліктеріне байланысты агроэкологиялық тұрғыдан әртүрлі болып келеді. «Дружба» шаруа қожалығы (Ұлан ауданы) мен «Tamerlan&K» шаруа қожалығы (Глубокое ауданы) микроклиматтық жағдайлары мен агротехникалық басқару тәсілдері бойынша бір-бірінен ерекшеленеді. Сондықтан олар нақты өндірістік жағдайда топырақ құнарлылығының кеңістіктік өзгерістерін зерттеуге қолайлы нысандар ретінде таңдалды.

Гидрогель қоспасын топыраққа жергілікті енгізу үшін арнайы топырақ өңдеу құрылғысы – саңылау жасағыш (слиттер) қолданылды. Бұл құрылғы материалды нақты белгіленген тереңдікке енгізуге және оның топырақ қабаты бойынша біркелкі таралуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Далалық тәжірибе келесі бес нұсқадан тұрды:

- Бақылау нұсқасы – гидрогель қолданылмаған.
- 20 см тереңдікке 30 кг/га гидрогель енгізу.
- 20 см тереңдікке 60 кг/га гидрогель енгізу.
- 40 см тереңдікке 30 кг/га гидрогель енгізу.
- 40 см тереңдікке 60 кг/га гидрогель енгізу.

Суару мөлшері 900 м³/га құрап, өңірде бидай өсіруге арналған жалпы қабылданған агротехникалық талаптарға сәйкес жүргізілді.

Биологиялық ыдырайтын гидрогельдің тиімділігін бағалау үшін агрофизикалық және биометриялық көрсеткіштер кешені қолданылды. Зерттеу барысында төмендегі көрсеткіштер анықталды:

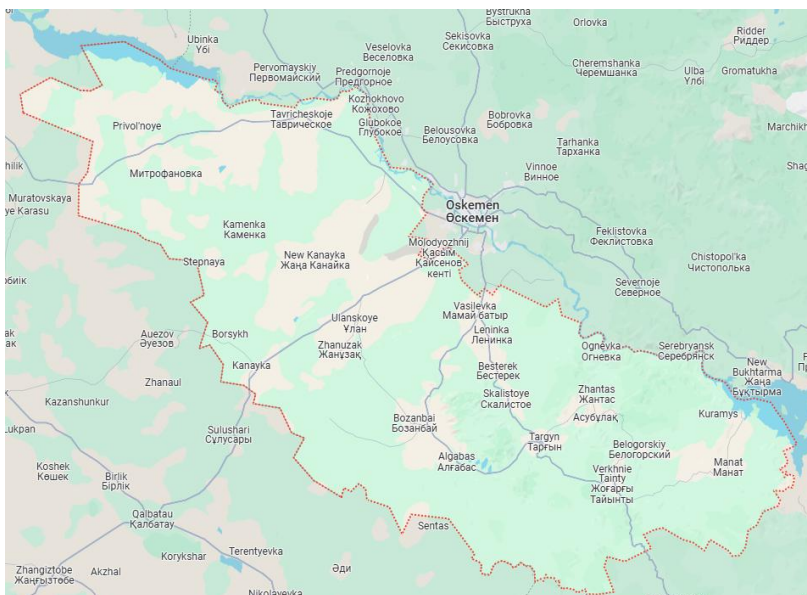
- топырақтың әртүрлі қабаттарындағы ылғал мөлшері (0–5, 0–20 және 20–40 см) – термостаттық-салмақтық әдіс арқылы;
- оңтайлы су режимін сақтау үшін қажетті суару саны;
- топырақтың су беру коэффициенті;
- суарулар арасындағы кезең ұзақтығының динамикасы;
- өсімдіктердің өсуі мен дамуының морфометриялық көрсеткіштері (сабақ биіктігі, жапырақ бетінің ауданы, биомасса).

Барлық өлшеулер үш қайталымда жүргізіліп, стандартты агрохимиялық және агрофизикалық талдау әдістері пайдаланылды. Алынған мәліметтер дисперсиялық талдау (ANOVA) әдісі арқылы статистикалық өңдеуден өтті. Бұл тәжірибе нұсқалары арасындағы маңызды айырмашылықтарды анықтауға және гидрогельді қолданудың ең тиімді жағдайларын белгілеуге мүмкіндік берді.

Технологиялық үдеріс бірнеше бірізді операциялардан тұрды: алдымен саңылау кескіш диск топырақты тіліп өтті, кейін слиттер топырақты қопсытты, ал тығыздаушы каток жарықтарды жартылай жауып, өңделген топырақ бетін тегістеді. Зерттеу барысында слиттердің бірнеше үлгісі сыналды, олардың қатарында Till-Ripper (John Deere, АҚШ), Delta-New (Hatzenbichler, Австрия), Salford слиттері және GS-4M терең қопсытқыш-слиттері болды.

Зерттеу нәтижесінде «саңылау кескіш диск – слиттер – тығыздаушы каток» жүйесі ең тиімді технологиялық шешім ретінде анықталды. Бұл құрылым агрегаттың 5–6 км/сағ жылдамдықпен жұмыс істеуі кезінде топырақты сапалы қопсытып, гидрогельдің біркелкі енгізілуін қамтамасыз етті. Ал қозғалыс жылдамдығы 7 км/сағ-тан жоғары болған жағдайда бірқатар жағымсыз құбылыстар байқалды: қопсыту аймағының шамадан тыс ұлғаюы, ірі топырақ түйірлерінің сыртқа шығарылуы, ылғалдың жоғалуы және кейіннен қосымша топырақ өңдеу қажеттілігі туындады.

Вегетациялық кезең бойы топырақ ылғалдылығы, өсімдік биіктігі, құрғақ биомасса мөлшері және өнімділік көрсеткіштері бақылауға алынды. Далалық тәжірибелердің әдістемесі В.А. Доспехов ұсынған ғылыми ұсыныстарға сәйкес жүргізілді. Зерттеу нәтижелері тәжірибелік саңылау кескіш құрылғының тиімділігін дәлелдеп, гидрогельдің әртүрлі мөлшерлерінің жаздық бидайдың агрономиялық көрсеткіштеріне әсерін бағалауға мүмкіндік берді. Топырақтық зерттеулер Шығыс Қазақстан облысында жүргізілді. Бұл аймақ климаттық және географиялық жағдайларының әртүрлілігімен ерекшеленеді. Өңір аумағында дала және тау бөктері ландшафттары кездеседі, ал негізгі топырақ түрлеріне қара топырақ, қара-қоңыр топырақ және олардың аралық типтері жатады. Тәжірибелік алаң Ұлан ауданындағы «Дружба» ауыл шаруашылығы кәсіпорнының егістік жерінде орналастырылды (1-сурет).



1-сурет – Зерттеу аймағының орналасуы – Шығыс Қазақстан облысы

«Дружба» шаруашылығындағы топырақ шайылған, орташа қарашірікті, орташа саздақты жұқа қара топыраққа жатады. Топырақтың 0–20 см жоғарғы қабатында қарашірік мөлшері 2,78%-ды құрайды, ал ортаның реакциясы әлсіз сілтілі болып, рН көрсеткіші 7,29-ға тең. Қоректік элементтердің мөлшері бойынша азот – 8,23 мг/кг, фосфор – 29,8 мг/кг, калий – 488 мг/кг және күкірт – 9,0 мг/кг деңгейінде анықталды (1-кесте).

Топырақтың орташа саздақты құрылымы оның жақсы агрегаттық құрамын қалыптастырып, ылғалдың тиімді қозғалысын қамтамасыз етеді. А горизонтының су өткізгіштігі 0,67 мм/мин құрады. Жырту қабатындағы көлемдік тығыздықтың төмен болуы (1,03 г/см³) топырақтың шамадан тыс тығыздалмағанын көрсетеді. Топырақ профилі бірнеше қабаттан тұрады: өңделетін қабат (0–24 см), өтпелі горизонт (24–34 см), қоңыр түсті астыңғы қабат (34–60 см) және 150 см-ге дейін созылатын карбонатты тасты қабаттар. Топырақ жоғары агрегаттық тұрақтылықпен, жеткілікті ауа алмасумен және орташа кеуектілікпен (45–55%) сипатталады. Мұндай жағдайлар дәнді дақылдардың өсуіне қолайлы орта қалыптастырады.

1-кесте – Топырақтың сипаттамасы

№	Көрсеткіш	Зерттеу нысаны («Дружба»)
1	Топырақ түрі	Шайылған, орташа қарашірікті, орташа саздақты жұқа қара топырақ
2	Қарашірік, %	2,78 (0–20 см)
3	Азот, мг/кг	8,23 (0–20 см)
4	Фосфор, мг/кг	29,8 (0–20 см)
5	Калий, мг/кг	488 (0–20 см)
6	Күкірт, мг/кг	9,0 (0–20 см)
7	pH	7,29 (0–20 см)
8	Топырақ тереңдігі	0–150 см
9	Механикалық құрамы	Орташа саздақты
10	Су өткізгіштігі	0,67 мм/мин (А горизонты)
11	Топырақ тығыздығы	1,03 г/см ³ (жырту қабаты)
12	Кеуектілігі	45–55%

Сонымен қатар, топырақтағы азот мөлшерінің салыстырмалы түрде төмен болуы құнарлылықты сақтау және арттыру мақсатында азотты тыңайтқыштарды қолданудың қажеттілігін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Гидрогельді қолдану топырақтың су теңгеріміне және бидайдың өсуіне айтарлықтай әсер етті. Бақылау және гидрогель қатар аралықтарға жергілікті енгізілген тәжірибелік нұсқаларды салыстыру барысында елеулі айырмашылықтар анықталды.

Топырақтың жоғарғы 0–20 см қабатында ылғал мөлшерінің бақылау нұсқасымен салыстырғанда 3,6–3,8%-ға төмендеуі байқалды. Бұл құбылыс ылғалдың тереңірек қабаттарға қайта бөлінуімен және топырақ бетінен физикалық буланудың азаюымен түсіндіріледі. Қуаңшылық жылдары гидрогель артық ылғал жоғалуын тежейтін тосқауыл қызметін атқарды. Сонымен қатар, 20–40 см қабатта ылғал мөлшері 3,2–3,6%-ға артқаны анықталды. Бұл аймақ бидайдың негізгі тамыр таралу қабаты болғандықтан, мұндай өзгеріс ерекше маңызды болып табылады. Осы қабаттағы ылғалдың көбеюі өсімдіктерді тұрақты әрі үздіксіз сумен қамтамасыз етіп, тамыр жүйесінің жақсы дамуына және құрғақшылыққа төзімділіктің артуына ықпал етті. Жалпы алғанда, тамыр аймағындағы топырақтың ылғал қоры 8–11%-ға көбейді, ал жоғарғы қабаттардағы ылғал шығыны 3–5%-ға азайды. Мұндай жағдайлар өсімдіктердің өсуі мен дамуына қолайлы орта қалыптастырды. Ылғал динамикасын талдау гидрогельді қолдану өнімділікті төмендетпей-ақ суару аралығын ұлғайтуға мүмкіндік бергенін көрсетті.

Тәжірибелік нәтижелер бұл тұжырымды толық растады: вегетациялық кезеңдегі суару саны екі реттен бір ретке дейін қысқарды, ал жалпы суару мөлшері 1800 м³/га-дан 900 м³/га-ға дейін төмендеді. Бұл тек су ресурстарын үнемдеп қана қоймай, суару жұмыстарына жұмсалатын энергия мен еңбек шығындарын да азайтты. Сонымен қатар, механикалық топырақ өңдеу операцияларының саны екіден бірге дейін қысқарып, өндірістік шығындардың төмендеуіне ықпал етті.

Бидай өсімдіктерінің морфологиялық көрсеткіштерін бақылау барысында гидрогель қолданылған учаскелерде өсімдіктердің қарқындырақ өсетіні анықталды. Мұндай өсімдік-

тердің сабағы биік әрі мықты болып қалыптасып, жапырақ аппараты жақсы дамыды және ыстық күндері солуға азырақ ұшырады. Тәжірибе нұсқаларын салыстырмалы талдау нәтижесінде гидрогельді 20 см тереңдікке 30 кг/га мөлшерінде енгізу ең тиімді нұсқа ретінде танылды. Бұл тәсіл тамыр аймағында ылғалды тиімді сақтап, жоғарғы қабаттардағы ылғал шығынын азайтуға мүмкіндік берді әрі қолдану шығындарын төмен деңгейде сақтады. Ал гидрогель мөлшерін 60 кг/га-ға дейін арттыру немесе оны тереңірек енгізу айтарлықтай қосымша нәтиже берген жоқ. Бұл орташа мөлшер мен енгізу тереңдігінің тиімді екенін дәлелдейді. Осылайша, далалық зерттеулер нәтижелері Шығыс Қазақстан жағдайында биологиялық ыдырайтын гидрогельді 20 см тереңдікке 30 кг/га мөлшерінде қолдану суды үнемдеуге және бидайдың ылғал тапшылығына төзімділігін арттыруға мүмкіндік беретін ең тиімді агротехникалық тәсіл екенін көрсетті. Қазақстанның қуаң далалық аймақтарында жүргізілген зерттеулер гидрогельдердің топырақтың ылғал сақтау қабілетіне, өсімдіктердің өсуіне және «Бәйшешек» бидай сортының өнімділігіне оң әсер ететінін дәлелдеді. Зерттеудің негізгі мақсаты – топырақтағы ылғалдың қолжетімділігін арттырып, өнімділікті ең аз шығынмен жоғарылатуға мүмкіндік беретін гидрогельдің оңтайлы мөлшерін анықтау болды. Шығыс Қазақстан облысындағы айлар бойынша температура мен жауын-шашын мөлшері 2-кестеде көрсетілген.

Топырақ ылғалдылығына әсері. Топырақтың 0–10 см және 10–20 см қабаттарындағы ылғалдылықты талдау гидрогель қолдану нәтижесінде ылғал мөлшерінің тұрақты түрде артқанын көрсетті. Бақылау нұсқасында (гидрогель қолданылмаған жағдайда) жоғарғы топырақ қабатындағы ылғал мөлшері 8,5% болды. Ал гидрогельді 25,0 кг/га мөлшерінде енгізгенде бұл көрсеткіш 8,7%-ға, ал 35,0 кг/га мөлшерінде қолданғанда 10,6%-ға дейін өсті. 10–20 см тереңдікте айырмашылықтар одан да айқын байқалды: бақылау нұсқасында ылғал мөлшері 14,9% болса, 25,0 кг/га гидрогель енгізілгенде 17,5%-ға, ал 35,0 кг/га мөлшерінде 18,5%-ға жетті. Бұл гидрогельдердің топырақ профилінде, әсіресе өсімдік тамырлары негізгі орналасатын қабатта, ылғалды тиімді ұстап тұру қабілетін дәлелдейді.

Топырақтың су ұстау қабілетінің артуы қолданылған гидрогельдердің химиялық құрылымымен байланысты. Олар акрил қышқылы туындылары, полиакрилонитрил және целлюлозалық матрицалар негізінде синтезделіп, құрамына көлденең байланыстырғыш агенттер енгізілді. Бұл компоненттер жоғары ісіну және су сіңіру қабілетіне ие үшөлшемді торлы құрылымдардың түзілуін қамтамасыз етеді. Гидрогельдердің максималды су сіңіру көрсеткіші 1 г құрғақ затқа шаққанда 2618 г суға дейін жетті. Бұл олардың ауыл шаруашылығындағы суперсорбент ретінде үлкен әлеуетке ие екенін көрсетеді (2-сурет).



2-сурет – Гидрогель қолданғаннан кейінгі бидай өсімдігінің биіктігін өлшеу (см)

Топырақтағы ылғал жағдайының жақсаруы бидайдың морфологиялық және өнімдік көрсеткіштеріне оң әсер етті. 25,0 кг/га мөлшеріндегі гидрогель қолданылған нұсқада

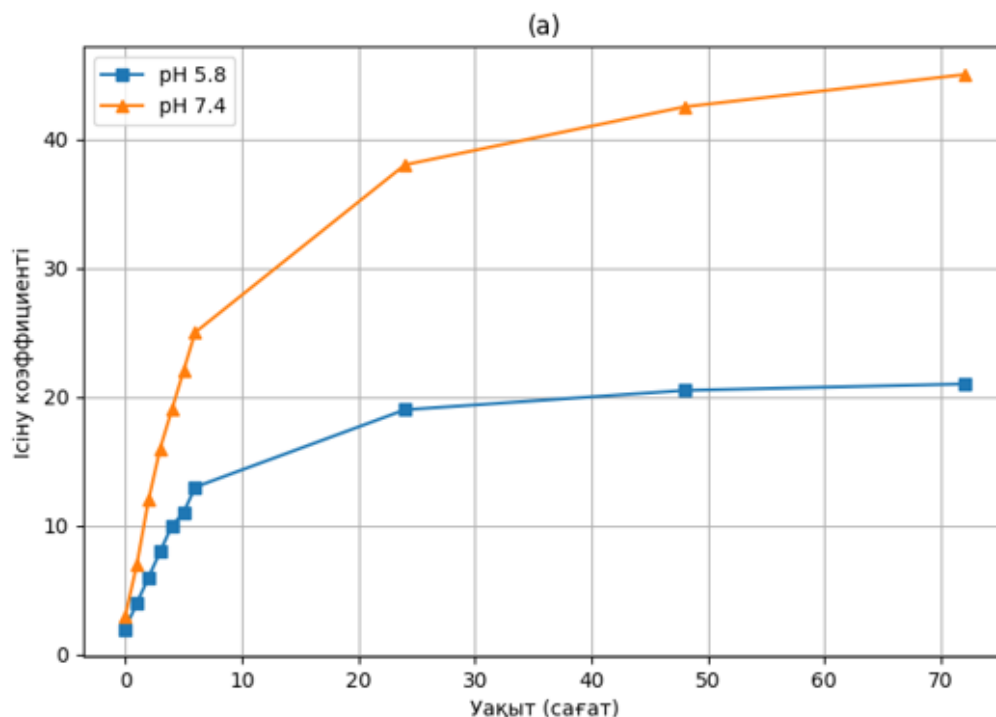
өсімдіктің биіктігі, жер үсті биомассасы және бірлік аумақтағы масақ саны артқаны 4-суретте көрсетілген. Осы нұсқадағы өнімділік 18,7 ц/га құрап, бақылау көрсеткішінен 4,1 ц/га жоғары болды. 35,0 кг/га мөлшерінде де биометриялық көрсеткіштердің жақсаруы байқалды. Алайда өнімнің қосымша өсуі айтарлықтай жоғары болмады, бұл гидрогель мөлшерін арттырудың экономикалық тұрғыдан тиімсіз екенін көрсетті (2-кесте).

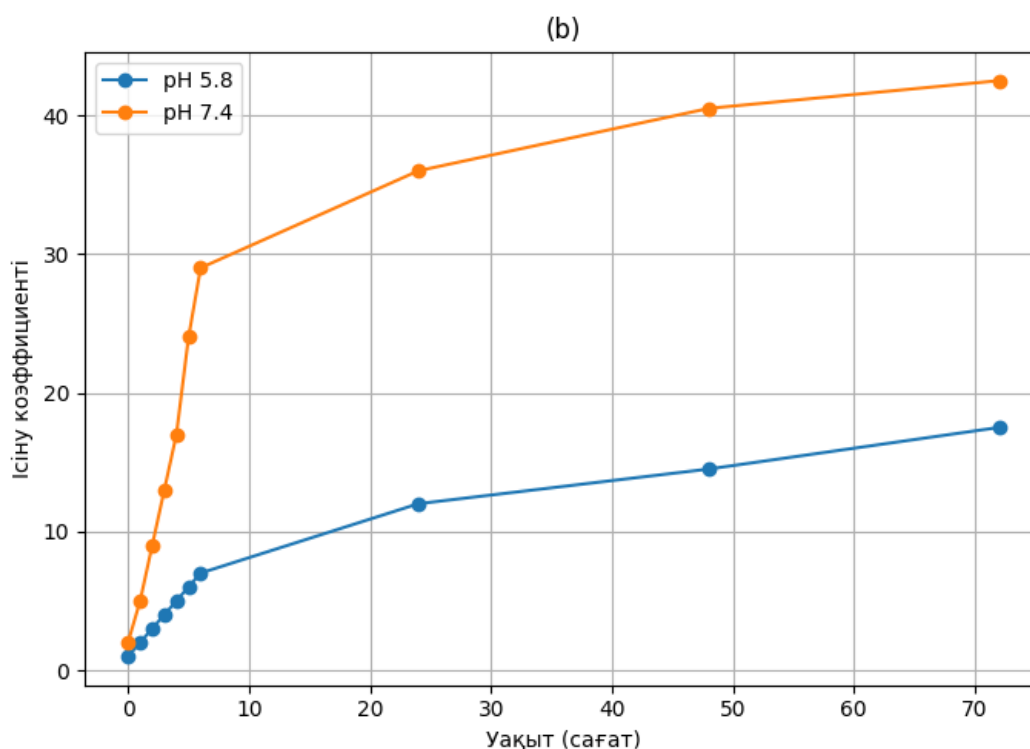
2-кесте – Гидрогель мөлшерінің топырақ ылғалдылығына, өсімдік өсуіне және бидай өнімділігіне әсері (2023–2025 жж.)

№	Көрсеткіш	Бақылау (0 кг/га)	25 кг/га	35 кг/га
1	Топырақ ылғалдылығы 0–10 см (%)	8.5	8.7	10.6
2	Топырақ ылғалдылығы 10–20 см (%)	14.9	17.5	18.5
3	Өсімдіктің орташа биіктігі	бақылаудан төмен	жоғары	одан да жоғары
4	Жер үсті бөлігінің массасы	бақылаудан төмен	жоғары	одан да жоғары
5	Өнімділік (ц/га)	14.6	18.7	18.9
6	Өнімнің артуы (ц/га)	–	4.1	4.3
7	Экономикалық тиімділік	төмен	жоғары	25 кг/га мөлшерінен төмен

Бұл қорытынды агроэкономикалық талдау нәтижелерімен де расталды. 35 кг/га мөлшерінде өсімдіктің өсу көрсеткіштері жоғары болғанымен, шығын мен өнім арақатынасы бойынша 25,0 кг/га мөлшері анағұрлым тиімді болып шықты. Сондықтан Қазақстанның тәлімі егіншілік жағдайында тиімділік пен экономикалық үнемділіктің оңтайлы үйлесімі ретінде дәл осы мөлшер ұсынылады. Гидрогельдердің топырақтағы ісіну коэффициентінің уақытқа байланысты өзгеруі «Дружба» (а) және «Тамерлан» (б) шаруашылықтарында 3-суретте көрсетілген. Зерттеу барысында әртүрлі рН жағдайларындағы топырақ үлгілерінде гидрогельдердің ісіну деңгейі 80 сағат бойы бақыланды. Тәжірибе рН 5,8 (қызыл сызық, ■) және рН 7,4 (жасыл сызық, ▲) жағдайларында жүргізілді.

Екі шаруашылықтың топырағында да гидрогельдер бастапқы кезеңде жылдам ісініп, кейіннен тұрақты деңгейге жеткені байқалды. Сонымен қатар, сілтілі ортада (рН 7,4) гидрогельдердің ісіну қабілеті едәуір жоғары болды. Бұл олардың аздап қышқыл ортаға (рН 5,8) қарағанда су сіңіру және ылғалды сақтау мүмкіндігінің жоғары екенін көрсетті.





3-сурет – «Дружба» (а) және «Тамерлан» (b) шаруашылықтарының топырағындағы гидрогельдердің ісіну коэффициентіне уақыттың әсері

Өсімдіктің өсуіне әсері

4-кестеде көрсетілгендей, гидрогель қолданылған тәжірибелік учаскедегі топырақ ылғалдылығы бақылау учаскесіне қарағанда едәуір жоғары болды ($t = 3.84$; $p = 0.0014$). Тәжірибенің 7, 14 және 30-күндерінде бидайдың өсу қарқыны да айтарлықтай жоғары көрсеткіш көрсетті (тиісінше $p = 0.017$; $p = 0.009$ және $p = 0.005$).

Өсімдіктің орташа биіктігі тәжірибелік учаскеде 34,2 см-ге жетсе, бақылау нұсқасында 28,6 см болды. Сонымен қатар, гидрогельді цеолитпен бірге қолдану өнімділікті 15,2%-ға арттырды ($t = 3.33$; $p = 0.0022$).

3-кесте – Гидрогельдің топырақ ылғалдылығына және өсімдік өсуіне әсері

№	Көрсеткіш	Бақылау учаскесі	Тәжірибелік учаске
1	Гравиметриялық ылғал сақтау қабілеті (%)	80 ± 5	95 ± 3
2	Ылғал бөлу температурасы (°C)	60 ± 2	70 ± 4
3	Тәжірибе камерасының температурасы (°C)	25 ± 2	25 ± 2
4	Топырақ ылғалдылығына әсері (%)	15 ± 3	25 ± 4
5	7 күннен кейінгі бидай өскіндерінің биіктігі (см)	4 ± 1	6 ± 1
6	14 күннен кейінгі бидай өскіндерінің биіктігі (см)	10 ± 2	12 ± 3
7	30 күннен кейінгі бидай өскіндерінің биіктігі (см)	22 ± 3	28 ± 4
8	Өну процесін ынталандыру (өніп шығу уақыты, күн)	10 ± 2	7 ± 1
9	Цеолитті агроминералдармен бірге қолданғандағы тыңайтқыш әсері (өнімге әсері, %)	10 ± 4	25 ± 6

Физиологиялық және биохимиялық аспектілер

Топырақтағы ылғал мөлшерінің артуы өсімдіктердің тамыр жүйесі мен фотосинтездік аппаратының белсенді дамуын ынталандырды. Бұл өз кезегінде өсімдіктің вегетативті және генеративті биомассасының көбеюіне әсер етті. Сонымен қатар, артық ылғал жағдайына тән құбылыс ретінде өсімдік метаболизмінің вегетативті биомассаны көбейту бағытына ауысу

үрдісі байқалды, ал генеративті өнім түзу көрсеткіштері аздап төмендеді. Дегенмен, гидрогельді 25,0 кг/га мөлшерінде қолдану кезінде өсім мен өнімділік арасындағы ең тиімді тепе-теңдікке қол жеткізілді.

Ғылыми және технологиялық маңызы

Алынған нәтижелер суперсорбенттерді пайдалану арқылы топырақтың су балансын реттеуге болатыны жөніндегі теориялық болжамдарды толықтай растады. Зерттеулер әзірленген гидрогельдердің ылғалды сақтап қана қоймай, оны тамыр аймағына біртіндеп бөліп шығара алатынын көрсетті. Бұл өсімдіктер үшін судың қолжетімділігін арттырады.

Сонымен қатар, гидрогельдердің NH_4^+ және NO_3^- иондарына қатысты жоғары сорбциялық қабілеті оларды тыңайтқыштармен біріктіріп қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай тәсіл өсімдіктердің қоректік заттарды тиімді игеруін қамтамасыз етеді.

Басқа зерттеу нәтижелері де ескерілді. Мысалы, $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$ арақатынасының оңтайлы деңгейі (25:75) мен 30 г/м² гидрогель мөлшерін бірге қолдану асқөк дақылдың ең жоғары өнімділігін және эфир майының мол түзілуін қамтамасыз еткені анықталды. Бұл гидрогель негізіндегі жүйелердің әмбебап әрі көпсалалы қолдануға жарамды екенін дәлелдейді.

Қорытынды. Қазақстанның қуаң климаттық жағдайында гидрогельдерді қолдану ауыл шаруашылығындағы ең перспективалы су үнемдеу технологияларының бірі болып табылады. Тәжірибелік зерттеулер гидрогельді 25–30 кг/га мөлшерінде қолдану топырақтың ылғал теңгерімін жақсартып, ылғалды ұзақ уақыт сақтауға және булануды азайтуға мүмкіндік беретінін көрсетті. Нәтижесінде өсімдіктердің өсуі мен дамуы едәуір жақсарып, өнімділік артып, тамыр жүйесі күшейді. Бұл дақылдардың құрғақшылыққа және қолайсыз табиғи жағдайларға төзімділігін жоғарылатады.

Осы технологияны енгізу су ресурстарын тиімді пайдалануға, дәстүрлі суару жүйелеріне тәуелділікті азайтуға және суару шығындарын төмендетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл Қазақстанның аграрлық секторын тұрақты дамытуға, топырақ құнарлылығын сақтауға және климаттық өзгерістерге бейімделуге жаңа мүмкіндіктер ашады. Зерттеу нәтижелері гидрогельдерді өңірдегі су үнемдеу технологияларының маңызды құрамдас бөлігі ретінде әрі қарай дамыту мен кеңінен енгізудің өзектілігін дәлелдейді.

Жүргізілген зерттеулер Шығыс Қазақстанның суармалы егіншілік жағдайында биологиялық ыдырайтын гидрогельдерді қолдану топырақтың су балансын реттеудің тиімді әрі экологиялық қауіпсіз тәсілі екенін көрсетті. Әзірленген технологияны енгізу топырақ бетінен ылғалдың физикалық булануын 3,6–3,8%-ға дейін төмендетіп, суару суын тиімді пайдалануға мүмкіндік берді. Соның нәтижесінде тамыр аймағындағы ылғал мөлшері 3,2–3,6%-ға артып, өсімдіктердің сумен қамтамасыз етілуі жақсарды.

Суару санының екі есеге жуық қысқаруы технологияның ресурстық тиімділігінің негізгі көрсеткіші болды. Бұл су жеткізу мен суару жүйелерін пайдалану шығындарын айтарлықтай азайтты. Сонымен қатар, гидрогель қолданылған жағдайда топырақтағы ылғал шығыны төрт есеге дейін төмендейтіні анықталды. Бұл ылғалдың ұзақ сақталып, өсімдіктерге біртіндеп берілуін қамтамасыз етеді. Жалпы алғанда, суару суын үнемдеу деңгейі 50%-ға дейін жетті, бұл су ресурстары шектеулі аймақтар үшін аса маңызды нәтиже болып табылады.

Зерттеу нәтижесінде гидрогельді 20 см тереңдікке 30 кг/га мөлшерінде енгізу ең тиімді нұсқа ретінде анықталды. Бұл тәсіл ең аз шығынмен жоғары тиімділікке қол жеткізуге мүмкіндік береді. Сондықтан биологиялық ыдырайтын гидрогельдерді қолдану технологиясы Қазақстандағы су үнемдеу жүйелерін дамыту мен агроландшафттардың тұрақтылығын арттырудың перспективалы бағыты ретінде қарастырылуы мүмкін.

Қаржыландыру. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғары Білім Министрлігі қаржыландырған № 393-ПЦФ-24-26 бағдарламасы аясында BR24993129 “Ылғалды сіңіріп, сақтауға және ылғалдың бөлінуін реттеуге қабілетті биологиялық ыдырайтын ыстыққа сезімтал гидрогельді әзірлеу” тақырыбы бойынша жүргізілді.

Әдебиеттер:

- [1] **Jayanudin, Retno** SD Lestari, Dhen Ria Barleany, Alia BadraPitaloka, Meri Yulvianti, Purnama Irene Lumbantobing, Zulfan Ek oPrasetyo, Synthesis of polyvinyl alcohol-based polymer hydrogel as water holding in sandy soil using gamma radiation technique and its application for urea loading, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, Volume 9,2024,100634,ISSN 2666-0164, <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100634>.
- [2] **Lv, T**, Chen Y, Li N, Liao X, Heng Y, Guo Y, Hu K. A Comprehensive Review of Thermosensitive Hydrogels: Mechanism, Optimization Strategies, and Applications. Gels. 2025;11(7):544. doi: 10.3390/gels11070544.
- [3] **Azimov, Abdugani**, Bolysbek Aidarbek, Iztleuov Gani, Ashirbayev Zhandos, Development and Characterization of Novel Biodegradable Hydrogels With Controlled Moisture Release for Smart Packaging Materials, Polymer Engineering and Science, <https://doi.org/10.1002/pen.70053>
- [4] **Bolysbek, A.A.**, Azimov, A., Iztleuov, G.M., Djalilov, A.T., Shirinov, S.D. Hydrogel Based On Starch, Acrylamide And Kaoline, Rasayan Journal of ChemistryOpen source preview, 2024, 17(3), pp. 848–854, <https://doi.org/10.31788/RJC.2024.1738844>
- [5] **Ayano, Nakamura**, Natsuko Yamane, Kenji Murakami, Development of smart window with hydroxypropyl cellulose-acrylamide hydrogel: Effect of hydroxypropyl cellulose molecular weight on light scattering property, Optik, Volume 294, 2023, 171464,<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.171464>.
- [6] **Jing, Li**, Yong Zhang, Shuo Wang, YihangHou, Haichen Yao, JiaziHou, Chia seed polysaccharide modified nanofiber-based hydrogel with high transmittance and high haze for multifunctional light management, International Journal of Biological Macromolecules, Volume 312, 2025, 144080, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.144080>.
- [7] **Zhiyu, Dai**, JingyuanJie, Junfu Li, JinchunXie, Yongjun Men, Accelerated rapeseed germination and robust root growth facilitated by porous carbon within gellan gum hydrogel beads, International Journal of Biological Macromolecules, Volume 305, Part 2, 2025, 141337, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.141337>.
- [8] **Timoshenko, V.V** Improvement of sowing technology through the use of a developed machine for introducing enriched hydrogel into the soil // Specialty 05.20.01 - Technologies and means of mechanization of agriculture/Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Volgograd.: 2016.- 20 p.
- [9] **Kavitha, Lakavath**, Chandan Kafley, Reshmi A. Sukumaran, Deivasigamani Umadevi, Yugender Goud Kotagiri, Advanced molecularly imprinted polymer-based electrochemical nanosensor for the sensitive detection of atrazine in agricultural fields, Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 13, Issue 5,2025,117673,ISSN 2213-3437, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.117673>
- [10] **Hichem, Moulahoum**, Derya Nil Kisin, Didem RemziyeFidan, Sude Yilmaz, Faezeh Ghorbanizamani, Molecularly Imprinted Polymers in Soft and Flexible Surfaces for Biomedical Applications, Sensors and Actuators A: Physical,2025,117043,ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2025.117043>.
- [11] **Xinbin, Zhang**, Xinyuan Kan, Yuechan Xie, Yixuan Wang, Zhuomin Li, Xueran Lun, Ying Zhao, Shaohua Zhang, Nan Wu, Wenlong Xu, Hydrogels enabled smart agriculture: Preparation, properties, applications, and future prospects, Industrial Crops and Products, Volume 235,2025,121804, <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121804>.
- [12] **Huifang, Zheng**, Peipei Mei, Wending Wang, Yulong Yin, Haojie Li, Mengyao Zheng, Xingqi Ou, Zhenling Cui, Effects of super absorbent polymer on crop yield, water productivity and soil properties: A global meta-analysis, Agricultural Water Management, Volume 282, 2023, 108290, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108290>.
- [13] **M. Khatouri**, R. Ahfir, L. Talha, A. Arbia, Z. Basbassi, R. Elhajjam, S. El Khaoui, M. Naji, H. Lemziouka, M. Filali, Molecular dynamics investigation of oil/water microemulsions with telechelic polymer: Interaction properties and sol/gel transitions, Journal of Molecular Liquids, Volume 428.2025.127565, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2025.127565>.
- [14] **Jiehui, Ye**, Rosazlin Abdullah, Tau Chuan Ling, Synthesis of carboxy methyl cellulose-based superabsorbent hydrogel-biochar composite as an eco-friendly water retention agent for soil moisture management, International Journal of Biological Macromolecules, Volume 322, Part 1, 2025, 146593, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.146593>.
- [15] **Haotian, Ding**, Xueyu Geng, Water retention characteristics and mechanical properties of vegetated biopolymer and biochar-reinforced sandy loam, Canadian Geotechnical Journal, 2025,

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОРАЗЛАГАЕМОГО ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ГИДРОГЕЛЯ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВАХ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Азимов А.М.¹, PhD
Изтлеуов Г.М.^{1*}, кандидат химических наук
Ертаева Ж.Т.², PhD
Болысбек А.А.¹, кандидат технических наук

¹Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

²Казахский национальный аграрный исследовательский университет, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. В условиях современных климатических изменений и учащения засух одной из основных проблем, стоящих перед агропромышленным комплексом, является эффективное использование водных ресурсов. Цель данного исследования — экспериментально оценить влияние количества гидрогеля, вносимого в почву, на влагоудерживающую способность почвы, рост растений и урожайность пшеницы в засушливых районах Восточного Казахстана. В работе рассмотрены возможности применения гидрогелей в качестве водосберегающей технологии, направленной на повышение урожайности сельскохозяйственных культур в сухих климатических условиях Казахстана. В результате полевых и лабораторных исследований установлено, что применение гидрогелей в количестве 25–30 кг/га улучшает влажностный режим почвы, способствует развитию корневой системы растений и повышает устойчивость к стрессу, вызванному засухой. Оптимальное количество гидрогеля позволяет значительно увеличить объем урожая и снизить расход воды. Это имеет особое значение для устойчивого развития агропромышленной отрасли региона. Результаты исследования показали, что разработанные гидрогели не только удерживают влагу, но и постепенно высвобождают её в зоне расположения корней растений. Благодаря этому повышается доступность воды для растений. Внедрение разработанной технологии позволило снизить физическое испарение влаги с поверхности почвы до 3,6–3,8% и повысить эффективность использования оросительной воды. В результате содержание влаги в корневой зоне увеличилось на 3,2–3,6%, что способствовало улучшению водообеспечения растений. В целом уровень экономии оросительной воды достигал 50%, что является особенно важным результатом для регионов с ограниченными водными ресурсами. Это доказывает, что системы на основе гидрогелей являются универсальной и эффективной технологией для применения в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: гидрогель, биоразлагаемый, сохранение влаги, термочувствительный, орошаемое земледелие, Восточный Казахстан

STUDY OF A BIODEGRADABLE THERMOSENSITIVE HYDROGEL FOR REGULATING MOISTURE RELEASE IN THE SOILS OF EASTERN KAZAKHSTAN

Azimov A.M.¹, PhD
Iztleuov G.M.^{1*}, Candidate of Chemical Sciences
Yertayeva Zh.T.², PhD
Bolysbek A.A.¹, Candidate of Technical Sciences

¹ M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

² Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Kazakhstan

Annotation. In the context of current climate change and the increasing frequency of droughts, one of the main challenges facing the agro-industrial sector is the efficient use of water resources. The aim of this study was to experimentally evaluate the effect of the amount of hydrogel applied to the soil on the soil's

water-retention capacity, plant growth, and spring wheat yield in arid regions of Eastern Kazakhstan. This study examined the potential of using hydrogels as a water-saving technology aimed at increasing the productivity of agricultural crops under the dry climatic conditions of Kazakhstan. Field and laboratory studies demonstrated that the application of hydrogels at a rate of 25–30 kg/ha improved the soil moisture regime, enhanced the development of the plant root system, and increased resistance to drought stress. The optimal hydrogel application rate made it possible to significantly increase crop yield while reducing water consumption. This is particularly important for the sustainable development of the agro-industrial sector in the region. The research results showed that the developed hydrogels not only retain moisture but also gradually release it in the zone where plant roots are located. As a result, water availability to plants increases. The implementation of the developed technology reduced physical evaporation of moisture from the soil surface to 3.6–3.8%, thereby improving the efficiency of irrigation water use. Consequently, the moisture content in the root zone increased by 3.2–3.6%, which improved the water supply of plants. Overall, the level of irrigation water savings reached up to 50%, which is a particularly important result for regions with limited water resources. This demonstrates that hydrogel-based systems are a versatile and effective technology for agricultural applications.

Keywords: hydrogel, biodegradable, moisture conservation, thermosensitive, irrigated agriculture, Eastern Kazakhstan.