

АҒЫНДЫ ЛАС СУЛАРМЕН СУАРУ ӘСЕРІНЕН ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ЛАСТАНУЫН БОЛЖАМДЫҚ ЕСЕПТЕУ

Далдабаева Г.Т.^{1*}, техника ғылымдарының кандидаты

Gulnur-d@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9586-798X>

Шомантаев А.А.¹, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, профессор

Shomantayev53@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3089-8651>

Умирзаков С.И.¹, техника ғылымдарының докторы, профессор

Sumirzakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5484-4001>

Байманов Ж.Н.², техника ғылымдарының кандидаты, доцент

zhanuzak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3572-3615>

Отарбаев Б.С.¹, ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты

bauyrzhan.kzo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5937-6465>

Көпен М.Б.¹, 8D08675 - “Су шаруашылығы және жерге орналастыру” БББ-ның 3-курс докторанты
meruert.kp@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9982-0428>

¹Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ, Қазақстан

²Ы.Жақаев атындағы Қазақ күріш ғылыми-зерттеу институты, Қызылорда қ, Қазақстан

Аңдатпа. Суармалы егіншіліктің қарқынды дамуы жағдайында ағынды суларды ауыл шаруашылығында пайдалану мәселесі қазіргі таңда экологиялық қауіпсіздік, су ресурстарын тиімді басқару және топырақтың мелиоративтік жағдайын сақтау тұрғысынан өзекті ғылыми бағыттардың бірі болып табылады. Су тапшылығы артып келе жатқан өңірлерде, оның ішінде Қазақстанның оңтүстік және оңтүстік-батыс аймақтарында, тазартылған ағынды суларды суару мақсатында тиімді қолдану мүмкіндігі су ресурстарын үнемдеудің баламалы жолы ретінде қарастырылады. Алайда ағынды сумен суару кезінде топырақ пен жер асты суларының гидрогеохимиялық режиміне әсер ететін бірқатар күрделі процестер пайда болады.

Мақалада ағынды лас сулармен суарудың жер асты суларының гидрогеохимиялық құрамына әсері, инфильтрациялық процестер және топырақ қабатындағы химиялық элементтердің миграциясы жан-жақты зерттелген. Суару нормаларының әртүрлі көлемдерінде топырақтың сүзгілік қасиеттері бағаланып, ағынды сулардың негізгі компоненттерінің (азот, фосфор, кальций, магний, хлор, сульфаттар) ұсталу дәрежесі талданды. Зерттеу нәтижелері бойынша топырақтың 50–100 см қабаты ағынды судың химиялық қоспаларын 60–100% аралығында тиімді сіңіретіні анықталды. Суару нормасы 900–1100 м³/га болған жағдайда табиғи биофилтрация жоғары болып, жер асты суларының ластану қаупі төмендейтіні байқалды. Сонымен қатар, ұзақ мерзімді суарудың жер асты суларының минералдануын арттыруы мүмкін екені дәлелденді. Мақалада жер асты суларының сапасын бақылау, гидрогеологиялық жағдайларды бағалау және ағынды суды ауыл шаруашылығында қауіпсіз пайдалану бойынша ғылыми ұсыныстар берілген.

Тірек сөздер: ағынды лас сулар, жер асты сулар, суару, топырақ, гидрогеология

Кіріспе. Ағынды судың топырақ арқылы инфильтрациясы барысында химиялық элементтердің миграциясы, олардың сіңірілу деңгейі және жер асты суларының ластану ықтималдығы табиғи гидрогеологиялық жағдайлар мен суару режиміне тікелей байланысты. Топырақтың сүзгілік қасиеттері, аэрация аймағының қуаттылығы және жер асты суларының тереңдігі ағынды судың құрамындағы биогендік элементтердің (азот, фосфор, калий), сондай-ақ хлор, сульфат, кальций мен магний сияқты макрокомпоненттердің таралу динамикасын анықтайды.

Суармалы алқаптардағы жер асты суларының деңгейінің көтерілуі, минералданудың артуы, химиялық құрамның өзгеруі – ағынды сумен ұзақ мерзімді суарудың негізгі салдары ретінде қарастырылады. Бұл жағдайлар ауыл шаруашылығы дақылдарының өсуіне, топырақтың тұздану дәрежесіне және экожүйелердің жалпы орнықтылығына кері әсер етуі мүмкін. Сондықтан ағынды сумен суарудың қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін топырақтың

сүзгілік қабілетін бағалау, химиялық элементтердің миграциясын болжау және жер асты суларының сапасын тұрақты бақылау аса маңызды.

Гидрогеологиялық жағдайлардың табиғи сипаттарын және оларға мелиорациялық шаралардың тигізетін ықпалын зерттеу – су ресурстарын тиімді басқару мен су пайдалану жүйелеріндегі түрлі инженерлік мәселелер аясын кеңейту үшін маңызды. Қолданбалы гидрогеология ғылымының мелиорация бағыты – жерді суару барысында қалыптасатын гидрогеологиялық ахуалды сараптау, топырақтың өнімділігін арттыру және мелиорацияға жататын жерлерде ауыл шаруашылығы дақылдарының тұрақты әрі жоғары өнім алуына мүмкіндік беретін мелиорациялық құрылымдарды жобалау және ұйымдастыру ісімен айналысады.

Мелиорациялық гидрогеология мынадай басты міндеттерді орындайды: суару, су жинау, су жеткізу тәрізді жобаланған шаралардың гидрогеологиялық жағдайларға ықпалын анықтап, олардың өзгеру үдерісін болжау; өзге мелиорациялық жұмыстармен қатар дренаж жүйелерін жобалау; мелиорацияланатын аумақтарда жер асты суларын ұтымды пайдалану және олардың табиғи ортаға әсерін ескере отырып, оларды сақтау; сондай-ақ мелиорациялық жүйелер жұмыс істеп тұрған кезде гидрогеологиялық мониторинг жүргізу [1].

Зерттеу материалдары мен әдістері. Гидромелиорациялық жағдайларды шынайы әрі дәл бағалау тек гидролог-мелиоратор мамандардың ғылыми талдауы және табиғи үдерістерді жан-жақты зерттеу нәтижесінде мүмкін болады. Бұл зерттеулерге жер асты суларының су және тұз режимін талдау да кіреді [2, 3]. Ауыл шаруашылығы дақылдарын суару барысында судың бір бөлігі топырақ ерітіндісі арқылы өсімдіктерге сіңіріледі, тағы бір бөлігі буланып кетеді, ал қалған мөлшері жер қойнауына өтіп, жер асты суларына қосылады. Соның салдарынан жер асты суларының деңгейі көтеріледі және аэрация қабатында – тамыр жүйесі орналасқан аймақта – булану мен тұз жиналу үрдістері күшейе түседі. Бұл топырақтың тұздануына алып келіп, нәтижесінде ауыл шаруашылығы дақылдарының өнім көлемі төмендейді.

Сонымен қатар, жер асты сулары суармалы жүйелердегі магистральдық, тарату және суару арналары арқылы сүзіліп өтетін сулармен де қосымша толықтырылады. Бұл процестер тек суармалы алқаптарда ғана емес, сондай-ақ бүкіл суару аймағы шегінде жер асты суларының гидрологиялық режимінің өзгеруіне себеп болады. Суару аймағы үшін басты гидрологиялық параметрлер – суару мөлшері мен суару кезінде жер асты суларына келіп түсетін қоректендіру көлемі болып табылады. Суару мөлшері немесе су беру көлемі топырақтың тамыр өсетін қабатында қажетті ылғалдылық деңгейін ұстап тұруға бағытталған, бұл өз кезегінде өсімдіктердің дұрыс өсіп-жетілуіне және ауыл шаруашылығы дақылдарының жоғары өнім алуына жағдай жасайды.

Қазақстан аумағындағы әртүрлі табиғи-климаттық аймақтарда жер асты суларының жату тереңдігі әрқилы болғандықтан, оңтайлы биоклиматтық суару көлемдері (суару нормалары) да бірдей емес; бұл көрсеткіштер арнайы «Мелиорация және су шаруашылығы бойынша анықтамалықтарда» келтірілген.

Жер асты суларының суармалы қоректенуі инфильтрациялық ағындар мен суару арналары арқылы болатын сүзінді шығындарды қамтиды. Бұл гидродинамикалық көрсеткіштерді белгілі бір шекте ұстау қажет. Суару кезінде жер асты сулары деңгейінің көтерілу белгілері байқалған сәтте инфильтрациялық қоректенуді бағалау барысында тамырлық қабат арқылы өтетін транзиттік ағындардың ықтималдығын есепке алған жөн. Мұндай ағындар кейде сүзілген судың жалпы көлемінің шамамен 20%-ына дейін жетуі мүмкін. Ал каналдардағы фильтрациялық шығындар, әдетте, ағын су көлемінің 40-50%-ын құрайды [3].

Суару кезінде каналдың түбі мен қабырғалары арқылы сүзіліп өтетін су өткізбейтін қабаттың үстінде жиналып, құрамында тұзы көп құнсыз сулар түрінде қалқып тұратын ерекше линза тәрізді түзілістер түзеді және жер асты суларының қорын толықтырады. Мұндай сүзінді ағындар кей жағдайларда топырақ пен жыныстарды тұздардан тазартып,

оларды шаюға мүмкіндік береді. Алайда, егер су өткізгіш қабаттың фильтрациялық қабілеті төмен болып, ағын болмаған жағдайда, кейбір бөліктерде жер асты сулары деңгейі көтеріліп, жердің су астында қалуы байқалады; ал басқа учаскелерде буланудың әсерінен топырақтың тұздануы үдей түседі.

Ағынды суларды пайдалана отырып суару – күрделі және көпқырлы мәселе, әрі ол топырақтың құнарлылығы мен қоршаған ортаның жағдайынан бөлек қарастырылмайды. Ағынды және мал шаруашылығы қалдық суларын жем-шөптік және орман шаруашылығы өсімдіктерін суаруда қолдану бойынша отандық және шетелдік зерттеушілердің ұзақ жылдар бойы жүргізген тәжірибелері олардың тиімділігінің жоғары екенін дәлелдеген.

Ағынды әрі минералданған сулармен суару жер асты суларының гидрологиялық режиміне елеулі әсер етеді. Бір жағынан, бұл тәсіл ағынды сулардың табиғи жолмен тазаруын қамтамасыз етсе, екінші жағынан – ауыл шаруашылығы дақылдарының осы сулар құрамындағы қоректік заттарды пайдалануы арқылы тиімді нәтиже береді. Көп жағдайда ағынды сулар суаруға қолданылғанда, жер асты суларының ластануы байқалып, олардың деңгейі жоғарылай түседі. Мысалы, Донбасс аймағындағы кейбір ағынды сумен суарылатын учаскелерде 25 жылдық суару нәтижесінде жер асты суларының деңгейі елеулі түрде көтеріліп, минералдану көрсеткіші 0,5 г/л-ден 2,8 г/л-ге дейін артқаны тіркелген.

Сонымен қатар, жер асты суларының химиялық құрамы гидрокарбонатты типтен сульфатты түрге ауысқан. Алайда, егер жер асты суларының үстінде су өткізбейтін қабат болса (мысалы, Ресейдің Люберцы қаласы мен Украинадағы Кудиново ауылына жақын маңда), мұндай жағдайларда ластану белгілері байқалмауы мүмкін. Бұл жерлерде 80 жыл бойы ағынды сумен суару жүргізілгенімен, жер асты суларының ластануы анықталмаған. Ағынды және минералды суларды тиімді пайдалану үшін алдымен суару аумағының гидрогеологиялық ерекшеліктерін, жер асты суларының табиғи режимін және су балансының элементтерін жан-жақты зерттеу қажет.

Жер асты суларының деңгейі төмендеген сайын аэрация аймағындағы су айналымы өзгеріп, булануға және инфильтрацияға кететін су мөлшері азаяды, бұл топырақ ылғалдылығының кемуіне және өсімдіктердің сумен қамтамасыз етілуінің нашарлауына әкеледі. Осыған байланысты, жер асты сулары деңгейінің оңтайлы шегі (топырақтың ылғалдылығы, аэрация аймағының жағдайы мен температуралық режимі тұрғысынан) ауыл шаруашылығы дақылдарының талаптарына сәйкес келуі тиіс. Өртүрлі дақылдар үшін топырақтың ылғалдылық режимін реттейтін технологиялар осы ылғал мөлшерінің қолайлы ауқымын сақтап тұруға бағытталуы қажет. Бұл ретте ылғалдылықтың ең төменгі деңгейі толық ылғал сыйымдылықтың 55-60%-ына, ал жоғарғы шегі 70-75%-ына тең болуы керек.

Ағынды сумен суару жүйелері (АСЖ) ағынды судың тек тазалануы ғана емес, сонымен қатар беткі және жер асты сулардың сапалы құрамының сақталуын қамтамасыз етуі керек. Жер асты суларына бақылау жүргізу үшін ағынды сумен суарту аймағында гидрохимиялық бақылау ұңғымалар желісі жасалады.

Бұл ұңғымалар желісін орналастыру кезінде бірқатар маңызды аспектілер назарға алынады: суару алқаптарының орналасқан жері мен көлемі; жер асты суларының ластануға ұшыраған аймағының пішіні; су өткізетін геологиялық қабаттардың құрылымы мен олардың кеңістіктегі шектері; ластанған жер асты суларының қозғалу бағыты мен ағысының жылдамдығы; сондай-ақ жақын маңда орналасқан су көздері және оларға қарай ағып баратын ластанған сулардың ықтимал қозғалыс жолдарының жай-күйі [4].

Ағынды сулармен суарылатын аумақтарда бақылау ұңғымаларын орналастыруда жер асты суларының табиғи ағым бағыты және жақын маңдағы су көздерінің орналасуы ескеріледі. Алғашқы бақылау ұңғымасы суару алаңына 100 метрден артық қашық тықта болмауы тиіс, ал келесі ұңғымалар аралығы шамамен 100-200 метр аралығында орналастырылады.

Ағынды суару жүйесі (АСЖ) дұрыс жобаланып, тиімді пайдаланылған жағдайда жер асты суларының ластану қаупі туындамайды. Жерасты суларының ластануын нақты анықтау

үшін топырақтың, атмосфералық жауын-шашынның және жерүсті суларының ластану деңгейлері жан-жақты зерттелуі қажет. Бұл мақсатта өнеркәсіптік қалдықтар сақталатын учаскелерде, өндірістік нысандар аумағында және олардың айналасындағы 3 шақырымдық радиуста топырақ үлгілері алынады. Үлгі алу нүктелерін таңдауда аймақтағы желдің басым бағыттары ескеріледі және олар зерттелетін аумақ бойынша кеңістікте біркелкі таратылады. Әрбір таңдаулы нүктеден жылына екі рет – жауын-шашынның ең жоғары және ең төмен түсу кезеңдерінде – топырақтың 10-15 см және 0,5-1,0 м тереңдігінен үлгілер іріктеліп алынады.

Атмосфералық жауын-шашын үлгілері де топырақ және бақылау ұңғымаларымен сәйкес келетін нүктелерде жиналады, бұл су, топырақ және жауын-шашын арқылы болатын ластануларды кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді. Жерасты суының үлгілері жауын-шашын түспей тұрып және одан кейінгі кезеңдерде алынады, ал жауын-шашын кезінде үлгілерді жинау әр 7-10 күн сайын жүргізіледі. Жерүсті сулар, топырақ және түптік шөгінділердің үлгілері ағынды сулар тасталатын өзен учаскелерінің жоғары және төмен ағыс бөліктерінен, сондай-ақ жер асты суларының өзенге қосылуы мүмкін болжамды аймақтарынан алынады.

Ағынды сулар арқылы суару кезінде, егер қолданылатын әдіс пен суару тәртібі ғылыми негізделіп таңдалса, топырақ қабатында бұл сулардың толық тазаруы мен залалсыздануы қамтамасыз етіліп, жер асты суларының қажет деңгейдегі гидрологиялық режимі сақталады. Ауыл шаруашылығы дақылдарының бірқалыпты өсуі мен дамуы, сондай-ақ тұрақты әрі болжамды өнім алу – АСЖ жүйесінің санитарлық және экологиялық тұрғыдан маңыздылығын көрсетеді. Өсімдіктер ағынды сулар құрамындағы пайдалы қоректік заттарды бойына сіңіріп, оларды өніммен бірге сыртқа шығара отырып, табиғи фильтр рөлін атқарады. Әсіресе көпжылдық шөптердің дамыған тамыр жүйесі патогендік микроағзаларға қарсы әсер етіп, топырақтағы зиянды бактерияларды жоюға себепші болады. Алайда, өсімдіктердің вегетация кезеңінен тыс, яғни суық мезгілдерде, микроорганизмдердің белсенділігі айтарлықтай төмендейді, өсімдік өсуі баяулайды, бұл жағдай ағынды суларды тазарту тиімділігінің әлсіреуіне және жер асты суларының ластану қаупінің артуына алып келуі мүмкін. Осы себепті, өсімдіктер белсенділігі төмен кезеңде ағынды суларды уақытша жинақтап ұстауға арналған тұндырма тоғандар ұйымдастырылуы қажет. Дегенмен, практикада өсімдік өспейтін уақыттарда суаруды мүлде тоқтату ұсынылмайды: көктемгі және күзгі кезеңдерде ылғал қорын толықтыру мақсатында су зарядтау және тыңайтқыш енгізу түріндегі суару тәсілдері жиі қолданылады [5].

Жүргізілген отандық және шетелдік зерттеулердің нәтижелері көрсетіп отырғандай, ағынды сулармен суарылатын жерлерде бұл суларды тиімді тазарту деңгейі тікелей сол аумақтың гидрогеологиялық ерекшеліктерімен тығыз байланысты. Егер таңдалған суару әдісі мен оның тәртібі топырақтың фильтрациялық қасиеттеріне және жер асты суларының қозғалыс бағытына сай келсе, онда суару алаңы өз қызметін тұрақты әрі тиімді атқара алады [6–8].

Жерасты суларының ластануын болдырмау үшін суарудың оңтайлы режимін ұстану, суарылатын алаңдарды мұқият іріктеу және суару массивінің орналасуын дұрыс жобалау маңызды. Ағынды сулардың құрамында болатын негізгі ластаушы биогендік элементтер – азот, фосфор және калий. Бұл элементтердің топырақтағы жүріс-тұрысы әртүрлі: фосфор көбіне топырақтың минералды бөлшектеріне жабысып, төменге сүзіліп өтпейді және жер асты суларына жетпейді. Ал калий болса, судың топырақ қабаттары арқылы төмен қарай қозғалысы кезінде оңай шайылып кетеді; сонымен қатар ол топырақтағы кальций мен магнийдің орнын басып, осы элементтердің жер асты суларына өтіп кетуіне себеп болып, сулардың минералдану деңгейін арттыруы мүмкін. Азот топырақта химиялық өзгеріске ұшырап, түрлі формаларда нитратқа айналады, ал бұл қосылыстар да оңай шайылып, жерасты суларын ластай алады.

Нәтижелер мен талдау: Ағынды суларды қолдану арқылы суару басталғаннан кейін кез келген жылы жер асты суларының құрамындағы нитраттардың шоғырлану мөлшерін

накты болжау үшін алдыңғы және одан бұрынғы жылдардағы көрсеткіштерге сүйену қажет. Ағынды суарудың бірінші жылында жер асты суларындағы нитрат концентрациясын В.М. Гольдбергтің [10] есептеу әдісімен анықтауға болады.

$$C_1 = \frac{W_{\phi} \cdot C_{\phi} + h \cdot S \cdot C_0}{h \cdot S + W_{\phi}}; \quad (1)$$

Мұндағы W_{ϕ} – фильтрацияланған ағынды сулардың көлемі; C_{ϕ} – фильтрацияланған ағынды сулардың орташа нитрат концентрациясы; h – жер асты суларының табиғи ағымына сәйкес келетін суару массивінің өлшемі; S – суару массивінің екінші өлшемі; C_0 – жер асты суларының табиғи (фондық) нитрат мөлшері.

Суару басталғаннан кейінгі кез келген j -ші жылы массив астындағы жер асты суларының нитрат концентрациясы мына формула бойынша анықталады.

$$C_j = \frac{W_{\phi} \cdot C_{\phi} + S \left(h - \frac{V_e t m}{n} \right) \min C(j-1) + S \cdot V_e \cdot t_m \cdot C_0}{h \cdot S_m + W_{\phi}}; \quad (2)$$

Мұндағы q – жер асты суларының табиғи ағымы жылдамдығы; t – суару аралығының уақыты; n – су өткізетін қабаттардың өтімділігі; m – жер асты суларының орташа қабатының қалыңдығы; $C(j-1)$ – өткен жылғы жер асты суларының азот концентрациясы.

Егер ағынды сумен суару маусымда екі рет бірдей нормада жүргізілсе, жер асты суларының нитрат концентрациясының өзгерістері әр жағдайда аз болады. Сондықтан жуықталған бағалау үшін ағынды сумен суару кезеңінің ұзақтығын бір суарылым ұзақтығына тең деп санауға болады [4].

Табиғи сулардың ластаушылары ретінде суармалы ағынды сулар құрамындағы химиялық элементтер әрекет етеді, оған органикалық және минералдық тыңайтқыштар, өсімдік шаруашылығында қолданылатын пестицидтер мен басқа да препараттар жатады. Табиғи суларды ағынды суларда болатын химиялық элементтермен ластанудан қорғаудың басты жолы – төгілетін судың сапасына қойылатын нормативтік құжаттар талаптарын сақтау және қамтамасыз ету. Су айдындары мен жер асты суларына ластаушы заттардың түсу қарқындылығы табиғи жағдайларға – климатқа, жер бедеріне, топырақ түріне, сондай-ақ ауыл шаруашылығы дақылдарын ағынды сулармен суару технологиясына байланысты.

Ағынды сулармен суару кезінде шешуші (критикалық) элемент – азот. Бұл нитраттар мен нитриттердің жоғары миграциялық қабілетіне және олардың өсімдіктерде канцерогендік заттардың түзілуіне ықпал етуіне байланысты.

Су айдындарында фосфор мөлшері норматив бойынша реттелмейді, алайда фосфор балдырлардың дамуы мен су қоймаларының шамадан тыс өсу (эвтрофикация) процесінде негізгі рөл атқарады.

Ластаушы заттардың жол берілетін ең жоғары концентрациялары табиғи су қабылдағыштың су мөлшерін (сулылығын) және сындарлы кезеңдердегі ағызынды көлемін ескере отырып есептеледі. Су қабылдағышта ағызынды сумен араласқаннан кейін ластаушы заттардың концентрациясы су қабылдағыштың мақсатты пайдаланылуына және маңыздылығына байланысты шекті жол берілетін концентрациялардан (ШЖК) аспауы тиіс. Су қабылдағыштағы судың құрамы мен қасиеттері суару массивінен беткі немесе дренаждық сулар төгілетін жерден ағыс бойымен 1 км қашықтықтағы су тұтыну немесе су пайдалану пунктіне дейінгі су ағынының бақылау қимасында (створында) нормативтерге сәйкес болуы қажет [4].

Суару жүйелерінің табиғи сулардың сапасына ықпалын бағалаудың негізгі есептік кезеңдері мыналар болып табылады: көктемгі тасқынның бәсеңдеу кезеңі (алғы егіс кезеңі); жаз-күзгі нөсер жауындар кезіндегі паводок кезеңі; жазғы су азаю (межень) кезеңі.

Су қабылдағыштағы және суармалы аумақтағы есептік су шығыны ретінде СН 435-72

[11] нормаларына сәйкес 10% қамтамасыз етілу ықтималдығындағы ең жоғары орташа тәуліктік шығыстар қабылданады.

Есептік тұста (створда) анықталған ластаушы заттардың концентрациялары осы су пайдалану санатына арналған шекті жол берілетін концентрациялармен (ШЖК) салыстырылады. Ағынды сулармен суарылатын алқаптан және оған іргелес су ағызылатын аумақтан түсетін ластаушы заттар есебінен ШЖК-дан асып кеткен жағдайда су қорғау шаралары қарастырылады: бағыттаушы бөгеттер, буферлік алаңдар, беткі және дренаждық суларды жинақтағыштар (накопительдер). Жинақтағыштар мен буферлік алаңдардың аумағын 200-300 га-дан асырмау үшін ағынды сулармен суарылатын бүкіл массив есептік створға іргелес орналасқан ұсақ су жинау алаңшаларына бөлінеді. Ластаушы заттардың ағызынды сулардағы концентрациялары әрбір су жинау алаңы үшін жеке-жеке есептеледі.

Беткі және дренаждық суларды жинақтағыштар тек өздігінен тазару процесін ескере отырып, ластаушылар концентрациясы ШЖК-дан асатын су жинау алаңдарының створларында ғана салынады. Мұнда есептер 5; 10; 25% қамтамасыз етілу ықтималдығы бар жылдар қатары үшін жүргізіледі. Есептік шама ретінде үш мәннің ішіндегі ағызынды сулардағы ең жоғары концентрация қабылданады. Егер бұл мән су қабылдағыштағы өздігінен тазару және сумен сұйылу процестерін ескере отырып, су айдынына төгуге рұқсат етілген ШЖК шегінде болса, онда беткі ағын су жинақтағыштарын салу қажет емес.

Мысал ретінде ВСЕГИНГЕО әдістемесі бойынша жер асты суларының ластануына болжамды есеп келтірілген [12-13].

Ағынды сулармен суарылатын алқаптарға енгізілетін азоттың балансын төмендегі формуламен көрсетуге болады:

$$N_a = Q_y + Q_n + Q_{\phi} + Q_a; \quad (3)$$

мұндағы: Q_y – азоттың өніммен бірге әкетілуі; Q_n – топырақта және аэрация аймағындағы жыныстарда азоттың жиналуы; Q_{ϕ} – аэрация аймағы арқылы нитраттар түрінде жер асты суларына сүзілетін азот мөлшері; Q_a – денитрификация процесі нәтижесінде атмосфераға жоғалатын азот мөлшері.

Ағынды сулармен суарылатын алқап тік төртбұрыш пішінді болсын, оның қабырғалары h және $S(m)$, ал $h(m)$ қабырғасы жер асты суларының табиғи ағыс бағытымен сәйкес келеді деп есептейік. Вегетациялық кезең ішінде ағынды сумен суару бір немесе бірнеше рет жүргізілуі мүмкін.

Егер вегетациялық кезеңде бір рет қана суару жүргізіледі деп қарастырсақ, көптеген жағдайларда топырақта және аэрация аймағындағы жыныстарда азоттың жиналуы (Q_n), сондай-ақ денитрификация есебінен азоттың атмосфераға шығыны (Q_a) ескерілмейді, яғни (Q_n) = 0 және (Q_a) = 0 деп алынады. Бұл жағдайда $N_a = Q_p + Q_{\phi}$, ал $Q_{\phi} = N_a - Q_p$ болады.

Топырақта және аэрация аймағындағы жыныстарда азоттың жиналу шамасы (Q_n) өсірілетін дақыл түріне, өнім мөлшеріне және ағынды сулардағы азот нормасына байланысты болады. Әдеби деректер бойынша, бұл көрсеткіш ағынды сулардағы азот мөлшерінің 50–60%-ын құрайды.

Егер суаруға берілетін ағынды сулар көлемі (W_n) сүзгіден өткен ағынды сулар көлеміне (W_{ϕ}) тең деп қабылданса, яғни олар суару кезеңінде жер асты суларын толықтырады деп есептелсе, онда сүзілетін ағынды сулардағы азоттың орташа концентрациясы (C_{ϕ}) мынаған тең болады:

$$C_{\phi} = C - C_p \quad (4)$$

мұндағы: C – өніммен әкетілетін азот үлесіне шаққандағы азот концентрациясы; C_p – су қабылдағыштың сағасында азот концентрациясы.

Суару кезеңінде ағынды сулар топырақ арқылы сүзіліп, суару массивінің астындағы

жер асты суларымен араласады. Суаруаралық кезеңде ластанған сулар жер асты суларының табиғи қозғалысы әсерінен төмен қарай ағатын ағынмен араласады. Келесі суару кезеңінде топырақ арқылы сүзілген ағынды сулар дәл сол көлемдегі жер асты суларымен қайта араласады, бірақ бұл жолы ол екі бөліктен тұрады: алдыңғы суару кезеңінде қалыптасқан ластанған жер асты сулары (жер асты сулары + ағынды сулар) және суаруаралық кезеңде ластанған жер асты суларын ығыстырған таза жер асты сулары.

Суару массиві астындағы жер асты суларындағы азот концентрациясы (C_j) суару басталғаннан кейін кез келген (j) жыл үшін төмендегі формула бойынша анықталады:

$$C_j = \frac{W_\phi \cdot C_\phi + W_0^1 \cdot C_{j-1} + W_0^n \cdot C_0}{W_0 + W_\phi}; \quad (5)$$

мұндағы: W_ϕ – суару кезеңінде сүзгіден өтіп, жер асты суларын толықтырған ағынды сулардың көлемі; C_ϕ – сүзілетін ағынды сулардағы азоттың орташа концентрациясы; W_0^1 – суаруаралық кезеңде таза сулармен ығыстырылғаннан кейін суару массивінің астында қалған ластанған жер асты суларының көлемі; C_{j-1} – алдыңғы жылғы жер асты суларындағы азот концентрациясы; W_0 – суару массивінің астындағы жер асты суларының көлемі; C_0 – жер асты суларындағы азоттың фондық (табиғи) мөлшері; W_0^1 – суаруаралық кезеңде ластанған сулардың орнын басатын таза жер асты суларының көлемі.

Суару массивінің астында қалып қойған және таза сулармен ығыстырылғаннан кейінгі ластанған жер асты суларының көлемі (W_0^1) төмендегі формула бойынша анықталады деп қабылданған:

$$W_0^1 = S \cdot m \cdot n(h - x_m); \quad (6)$$

мұндағы: S және h – суару алаңының тік төртбұрышты пішінінің қабырғалары; m – жер асты сулары горизонтының орташа қалыңдығы; n – су өткізгіш жыныстардың кеуектілігі (пороздылығы); x_m – жер асты суларының табиғи қозғалысының әсерінен ластанған сулардың төмен қарай жылжу қашықтығы.

Суаруаралық кезеңде ластанған сулардың бір бөлігін алмастыратын таза жер асты суларының көлемін төмендегі формула бойынша анықтауға болады:

$$W_0^n = S \cdot m \cdot n \cdot x_m; \quad (7)$$

мұндағы: $x_m = t_m \cdot V_e / n$; t_m – суаруаралық кезеңнің ұзақтығы; V_e – жер асты суларының табиғи ағысының фильтрация жылдамдығы, ол төмендегі формула бойынша анықталады:

$$V_e = K \cdot i_e; \quad (8)$$

мұндағы: K – фильтрация коэффициенті; i_e – табиғи ағынның еңістігі (градиенті).
(5)-формулаға W_0 мәнін қойып, төмендегіні аламыз:

$$C_j = \frac{W_0 \cdot C_\phi + S \left(h - \frac{V_e \cdot t_m}{n} \right) m \cdot n \cdot C_{j-1} + S \cdot V_e \cdot t_m \cdot C_0}{h \cdot S \cdot m \cdot n + W_\phi}; \quad (9)$$

Суару басталғаннан кейін белгілі бір жылға жер асты суларындағы нитраттар концентрациясын болжау үшін алдыңғы жылғы нитраттар концентрациясын білу қажет, алайда алдымен суарудың бірінші жылына алдын ала есептеулер жүргізілуі тиіс.

Ағынды сулармен суарудың бірінші жылынан кейінгі нитраттар концентрациясы мынаған тең:

$$C_j = \frac{W_{\phi} \cdot C_{\phi} + h S m \cdot n \cdot C_o}{h S \cdot m \cdot n + W_{\phi}}; \quad (10)$$

Одан әрі жер асты суларындағы нитраттардың концентрациясы екінші, үшінші және одан кейінгі жылдарға қажетті мерзімге дейін анықталады.

Егер ағынды сулармен суару маусым ішінде 2 рет жүргізілсе және суару нормалары бірдей болса, онда бұл жағдайлардың әрқайсысында жер асты суларындағы нитраттар концентрациясының өзгеруі айтарлықтай айырмашылық бермейді. Сондықтан жер асты суларының ластануын жуықтап бағалау үшін ағынды сулармен суару барлық суарулардың жиынтық ұзақтығына тең бір ғана кезеңде жүргізіледі деп есептеуге болады [4].

Кеңінен белгілі болғандай, ағынды сулар топыраққа түскен кезде топырақтағы әртүрлі қосылыстармен және ондағы еріген заттармен өзара әрекеттеседі. Осы кезде топырақ белгілі бір мөлшердегі құрамдас бөліктерді сіңіреді.

Топырақтағы заттардың миграциясын есепке алудың ең қолайлы әдістерінің бірі – лизиметриялық әдіс, ол табиғи ортаға барынша жақын жағдайларда топырақтағы процестердің жүруін сипаттайды [16].

Ағынды сулардың тазалану дәрежесі топырақтың ағынды сулардағы химиялық компоненттерді сіңіру қабілеті арқылы бағаланады.

Кесте 1 – Топырақтың ағынды сулардағы химиялық компоненттерді сіңіруі, мг/л

Көрсеткіштер	pH	HCO ₄	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+R	Азот (жалпы)	Азот (аммоний)	P ₂ O ₅
1-ші суару, m=700 м ³ /га, қабаты 0–50 см										
бастапқы	7,6	317,2	113,6	345,6	90,0	57,6	138,4	29,8	15,0	9,6
инфильтрат	7,6	69,78	21,6	71,2	26,64	18,20	28,51	2,8	2,9	0,0
% бастапқы тазалануға	–	78,0	81,0	79,4	70,4	68,4	79,4	90,6	80,4	100,0
4-ші суару, m=1100 м ³ /га, қабаты 0–50 см										
бастапқы	7,7	326,0	124,1	302,8	102,0	61,9	110,4	32,4	15,6	8,2
инфильтрат	7,6	158,4	61,8	213,2	61,1	39,37	54,98	13,61	7,3	5,1
% бастапқы тазалануға	–	51,4	50,2	29,6	40,1	36,4	50,2	58,0	53,0	38,0
4-ші суару, m=1100 м ³ /га, қабаты 0–100 см										
бастапқы	7,7	326,0	124,1	302,8	102,0	61,9	110,4	32,4	15,6	8,2
инфильтрат	7,6	114,8	24,32	60,76	32,44	25,44	34,67	3,8	1,15	0,70
% бастапқы тазалануға	–	64,8	80,4	80,1	68,2	58,9	68,6	88,4	92,6	91,4

1-кесте деректері ағынды сулардың топырақтың бір метрлік қабаты арқылы сүзілгеннен кейін (инфильтрат) құрамындағы компоненттер бойынша өзен суларының құрамына жақындайтынын көрсетеді. 1-кесте бойынша инфильтратта барлық компоненттердің төмендегені байқалады. Ағынды сулармен алғашқы суару кезінде, суару нормасы m = 700 м³/га болғанда, топырақ суда еритін тұздардың 60%-ға дейінін сіңіреді. Ең төмен сіңу 50 см топырақ қабатында байқалады – барлық катиондардың сульфаттары бойынша.

Топырақ қабатының қалыңдығы 100 см-ге дейін артқанда, тазалану дәрежесі жоғарылайды, инфильтраттардың барлық компоненттер бойынша мөлшері азая түседі. Бұл қабатта суда еритін тұздардың 90%-ға дейіні, ал фосфор мен жалпы азот тиісінше 100% және 90,8%-ға дейін ұсталады. 4-ші суару кезінде, суару нормасы m = 1100 м³/га болғанда, топырақтың бір метрлік қабатында суда еритін тұздардың сіңірілуі 58-80% аралығында, жалпы азот – 88,4%, фосфор – 91,4% болды. Кейінгі суаруларда топырақтың сіңіру қабілетінің төмендеуі суару алқаптарына түсетін жүктеме мөлшерінің жоғары болуымен

түсіндіріледі. Белгілі болғандай, жүктеме нормасы артқан сайын топырақтың сіңіру қабілеті төмендейді [17-20]. Ағынды сулармен суару кезінде кальций мен магний топырақ профилі бойымен барынша миграцияға ұшырайды, сондықтан олардың инфильтраттағы мөлшері жоғары болады. Топырақ ағынды судың құрамындағы фосфорды дерлік 100% сіңіреді, ал азотты өте қарқынды абсорбциялайды. Вегетацияның бастапқы кезеңінде 50 см топырақ қабатынан алынған инфильтраттағы жалпы азоттың мөлшері ағынды судағы құрамының 25-26%-нан, ал бір метрлік қабатта 10-12%-дан аспайды. Кейінгі суарулар барысында бір метрлік қабатта азот пен фосфордың сіңірілу деңгейі жоғары күйінде қалады [16].

Ағынды сулардың жоғары деңгейде тазалануын қамтамасыз ететін негізгі факторлардың бірі – суару алқаптарына түсетін рационалды жүктеме нормаларын сақтау. Бұл жағдайда топырақта сорбция, механикалық және физикалық сіңіру, сондай-ақ биохимиялық ыдырау процестерінің қалыпты жүруі қамтамасыз етіледі.

Суару кезінде топырақ белгілі бір қарқынмен түрлі заттарды сіңіреді, олардың бір бөлігі суаруаралық кезеңде ауыл шаруашылығы дақылдары тарапынан пайдаланылса, ал бір бөлігі көрсетілген процестердің әсерінен қарапайым қосылыстарға дейін ыдырайды [18].

Сондықтан ағынды сулармен суару жағдайында ағынды сулар арқылы келіп түсетін заттар мен өсімдіктер тарапынан пайдаланылатын заттар арасындағы тепе-теңдікті сақтау қажет, бұл тепе-теңдік суаруаралық кезеңдер арқылы реттеледі.

Ауыр саздақ шалғынды-батпақты топырақтарда ағынды сулардың химиялық компоненттері топырақтың жоғарғы 50 см қабатында ұсталып, биологиялық айналымға тартылады, өйткені бұл қабатта өсімдіктердің тамыр жүйесінің негізгі бөлігі мен микроағзалар шоғырланған және ыдырау процестері қарқынды жүреді. Ағынды сулармен суару кезінде жүктеме нормасы ұлғайған жағдайда инфильтраттардағы негізгі компоненттер мөлшерінің біршама артқаны байқалды. 2-кестеде ағынды сулармен бірге топыраққа келіп түсетін және инфильтрация нәтижесінде шайылып шығатын негізгі қоректік элементтер келтірілген.

2-кесте – Шалғынды-батпақты топырақ жағдайында ағынды сулармен суару кезіндегі топырақтағы химиялық элементтердің миграциясы, кг/га

Көрсеткіштер	M, м ³ /га	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+R	Na	P ₂ O ₅
Топыраққа түскен	3900,0	440,0	1346,0	3511,0	225,0	538,0	117,0	39,0
50 см қабаттан шайылып шыққаны	1500,0	77,7	317,4	81,54	50,6	115,0	15,9	4,35
%	-	18,0	23,0	23,0	23,0	25,5	14,0	11,0
Топыраққа түскен	5000,0	565,0	1730,0	450,0	290,0	690,0	150,0	50,0
50 см қабаттан шайылып шыққаны	2400,0	148,0	511,0	146,0	95,0	130,0	18,0	12,0
%	-	26,0	30,0	32,0	33,0	20,0	12,0	24,0

Инфильтрация нәтижелері негізгі қоректік элементтердің инфильтраттар құрамымен миграциялану деңгейі төмен екенін көрсетті. Мысалы, топырақтың 50 см қабатынан төменгі бөліктерге ағынды сулар арқылы түскен азоттың 10-14%-ы, фосфордың 11-24%-ы шайылып кетеді. Жоғары миграция дәрежесімен сипатталатын элементтер: хлор – 18-26,2%; сульфаттар – 23-30%; кальций – 23-32% және магний – 23-33%. Жалпы алғанда, аймақтың шалғынды-батпақты топырақтарында ағынды сулардың тазалану деңгейі жеткілікті жоғары. Суару нормасы артқан сайын топырақтағы химиялық элементтердің миграциясы біршама көбейеді.

Сондықтан ағынды суларды ауылшаруашылық дақылдарын суаруда тиімді пайдаланудың негізгі факторларының бірі – оңтайлы суару режимін сақтау. Суару нормасы тым жоғары болған жағдайда суару алқаптарының бетінде беткі ағын пайда болып, ол су көздерінің ластануына әкелуі мүмкін. Аталған аймақта орта және ауыр саздақ топырақтар үшін оңтайлы суару нормасы 900-1100 м³/га шегінде анықталған. Осы мөлшерде ағынды сулар топыраққа жақсы сіңіріледі және ластаушы заттардың басым бөлігі жырту қабатында ұсталып қалады. Ағынды сулардың тазалану дәрежесін суарылатын алқаптардағы өсімдіктердің дамуына қарай да бағалауға болады [16].

Ағынды сулармен суарылатын алқаптар Сырдария өзенінің оң жағалауында орналасқан, мұнда жер асты суларының жату тереңдігі 3-10 м және одан да терең, ал жыныстардың фильтрация коэффициенті тәулігіне 10-20 м құрайды. Жер асты сулары тұщы және тұздылау, олардың шығыны тәулігіне 1000-2000 м³, ал кейбір жерлерде жерасты ағынының ені бойынша бір сызықтық километріне 6000 м³/тәулікке дейін жетеді [14], және бұл қорларды суару үшін пайдалануға болады.

Сырдария өзенінің аңғарының аллювийлі шөгінділеріндегі жер асты суларының режимі тұрақсыз, ол жасанды және табиғи факторларға байланысты және Сырдария өзенінің режимімен, сондай-ақ жер бетіндегі суару суларының режимімен тікелей байланысты. Жер асты сулары деңгейінің ауытқу амплитудасы 10-20 м шамасында.

Жер асты суларының қоректенуі Сырдария өзенінен су таситын, ұсақ және орташа түйірлі құмдарға судың фильтрациялануы, атмосфералық жауын-шашынның инфильтрациясы, сондай-ақ фильтрация алқаптарынан ағынды сулардың сүзілу арқылы жоғалуы есебінен жүзеге асады. Жер асты суларының разрядталуы (шығысы) өсімдіктердің транспирациясы, булану және Сырдария өзенінің ағу бағытына параллель солтүстік-батыс бағытта қозғалған жерасты ағыны есебінен орын алады. Өзен жайылмасының бөлігінде жер асты суларының минералдануы 1,0-2,0 г/л, бірінші жайылмаүсті террасада 2,0-5,0 г/л, ал жайылмаүсті террасаларда 5,0-15,0 г/л құрайды. Екінші жайылмаүсті террасада судың химиялық құрамы – сульфатты-гидрокарбонатты-кальцийлі-натрийлі типке жатады [14,15].

Жер асты суларының қоректенуі олардың сапалық құрамының өзгеруіне алып келеді, әсіресе сүзгілеу алқаптарына жақын жерлерде. Л. Ф. Тикеновтің деректері бойынша [15], ағынды сулардың фильтрациялануы есебінен қайта қоректену барысында жер асты сулары қосымша түрде мынадай компоненттерге ие болады: сульфат иондары (SO₄), хлор (Cl), натрий (Na), сондай-ақ молибден (Mo), мырыш (Zn) және стронций (Sr) сияқты микроэлементтер.

Қызылорда қаласының сүзгілеу алқаптарынан су алу арқылы игерілуі жоспарланған жерлердің басым бөлігі ағынды суларды қолдана отырып суармалы егіншілікті дамытуға қолайлы жағдайларда орналасқан. Жер асты суларының жату тереңдігі 2,5–3,0 м-ден жоғары, яғни жер асты суларының топырақ процестеріне әсері жоқ деуге болады. Сондықтан су режимінің кіріс және шығыс теңгерімі топырақты күрделі шаю шараларынсыз қамтамасыз етіледі деп күтіледі.

Қаржыландыру. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті №BR21882415 «Қызылорда облысында су тапшылығы жағдайында мал азықтық дақылдары мен ағаш екпелерін суару үшін сарқынды суларды қауіпсіз утилизациялау технологиясын әзірлеу» бағдарламалық нысаналы қаржыландыру шеңберінде қаржыландырды.

Әдебиеттер:

- [1] Железняков, Г.В. и др. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – М.: Колос, 1984. – 205с.
- [2] Бурлибаев, М.Ж., Волчек А.А., Калинин М.Ю. Гидрометрические и гидрогеологические расчеты для водохозяйственных целей. Издательство «Каганат», Алматы, 2004. – 357с.
- [3] Особенности режима грунтовых вод при гидромелиорации земель. <https://ros->

pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/gidrogeologiya-/gidrogeologiya-i-osnovy-geologii/osobennosti-rezhima-gruntovykh-vod-pri-gidromelior/

[4] **Зубаиров, О.З.** Сточные воды и использование их в сельском хозяйстве. – Алматы, 2011. – 280 с.

[5] **Баймаханов, Ө.С.** Өмірзақов С.Ы., Ақылбаев Қ.И., Далдабаева Г.Т., Шегенбаев А.Т., Шалабаева Г.А. Қызылорда қаласы мысалында төгінді суларды ағаш екпелері мен малазықтық дақылдарды суару үшін ғылыми демонстрациялық алаңды дайындау мен су сапасын бағалау. Қорқыт Ата атындағы ҚУ Хабаршысы, Ауыл шаруашылығы ғылымдары, 2025. – №3–1 (74). – 81–93 бб. https://agro.korkyt.edu.kz/downloads/arch/journal_author_fRwrctbwqpL812x.pdf

[6] **Шульц, М.** Круглогодное орошение сточными водами. – М.: Колос, 1965. – С. 191.

[7] **Ильинский, И.И.** Опыт использования и обезвреживания сточных вод в сельском хозяйстве. – Ташкент: УзНИИТИ, 1984. – С. 40.

[8] **Баймаханов, О.С., Шомантаев А.А., Өмірзақов С.Ы., Сақтағанова Н.А., Далдабаева Г.Т., Шегенбаев А.Т., Ақылбаев К.И.** Тасбөгет кентіндегі модульдік биологиялық тазарту станциясының тәжірибелік учаскесінің жер асты суларының сапалық көрсеткіші. Қорқыт Ата атындағы ҚУ Хабаршысы. №4 (71) 2024, 365–375 бб. <https://doi.org/10.52081/bkaku.2024.v71.i4.215>

[9] **Газда, С., Гольдберг В. М.** Гидрогеологические основы охраны подземных вод. М.: Недра, 1984. – 262 с.

[10] **Гольдберг, В.М.** Оценка защищенности подземных вод по Гольдбергу. – Москва, 1984. – 262 с.

[11] Указания по определению расчетных гидрогеологических характеристик СН 435–72. Гидрометеоздат, 1972. – 34 с.

[12] Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО).

[13] **Гольдберг, В.М., Мелькановицкая С.Г., Лукьянчиков В.М.** Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод. – М: ВСЕГИНГЕО, 1988. – 61с.

[14] **Калдаров, М.К.** Гидрологические условия орошаемых земель низовьев реки Сырдарьи. // Сб. н.тр. Совершенствование мелиоративных систем и технологии орошения сельскохозяйственных культур в Казахстане. – Ташкент, 1985. – С.129-133.

[15] **Тикенова, Л.Ф.** Формирование подземных вод плато карай антропогенным воздействием: автореф. дис. канд. г-м наук. – Алматы, 1989г. –18 с.

[16] **Шомантаев, А.А.** Гидрохимический режим водотоков и сельскохозяйственное использование сточных и коллекторно-дренажных вод в низовьях реки Сырдарьи. – Кызылорда, 2001г. – 254 с.

[17] **Стручавичус, З.В.** Круглогодное сельскохозяйственное использование и очистка сточных вод маслосырзаводов на дренированных суглинистых почвах. Литовская ССР. Автореф. дис. канд. с-х наук. – М., 1980. – 23 с.

[18] **Баймаханов, Ө.С., Өмірзақов С.Ы., Абдукодирова М.Н., Ақылбаев Қ.И., Шегенбаев А.Т., Далдабаева Г.Т., Буланбаева П.У.** Төгінді сулардың жер асты суларына және малазықтық дақылдардың құрамына әсері. // Ізденістер, нәтижелер – Исследования, результаты, 2025. – №2 (106) ISSN 2304–3334, <https://doi.org/10.37884/2-2025/44>

[19] **Зубаиров, О.З.** Агромелиоративные и водоохранные основы сельскохозяйственного использования биологически очищенных сточных вод и животноводческих стоков в орошаемой зоне юга и юго-востока Казахстана. Автореф. док. диссерт. – Волгоград, 1992. – 47с.

[20] **Мусаев, А.И.** Водный режим почвы при орошении кормовых культур городскими сточными водами на светлых сероземных почвах юго-востока Казахстана. Автореф. дис. канд. с-х наук. – Волгоград, 1985. – 21с.

References:

[1] **Zheleznyakov, G.V.,** I dr. Hidrologiya, gidrometriya I regulirovanie stoka. – М.: Kolos, 1984. – 205 s. [in Russian]

[2] **Burlibaev, M.Zh.,** Volchek A.A., Kalinin M.Yu. Gidrometricheskie I gidrogeologicheskie raschety dlya vodokhozyaistvennykh tseley. Izdatelstvo «Kanagat», Almaty, 2004. – 357 s. [in Russian]

[3] Osobennosti rezhima gruntovykh vod pri gidromelioratsii zemel. https://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/gidrogeologiya-/gidrogeologiya-i-osnovy-geologii/osobennosti-

- [4] **Zubairov, O.Z.** Stokhnye vody I ispolzovanie ikh v selskom khozyaistve. – Almaty, 2011. – 280 s. [in Russian]
- [5] **Baimakhanov, O.S.**, Omirzakov S.I., Akyibaev K.I., Daldabaeva G.T., Shegenbaev A.T., Shalabaeva G.A. Kyzylorda kalasy mysalynda togindi sulardy agash ekpeleri men malazyktyk dakyldardy suaru ushin gylymi demonstratsiyalyk alandy daiyndau men su sapasyn bagalau. Korkyt Ata atyndagy KU Khabarshysy, 2025 – №3-1 (74), 81-93, 81-89 bb. [in Kazakh]
https://agro.korkyt.edu.kz/downloads/arch/journal_author_fRwrctbwqpL812x.pdf
- [6] **Shults, M.** Kruglogodovoe oroshenie stokhnymi vodami. – M.: Kolos, 1965. – S.191[in Russian]
- [7] **Ilinskiy, I.I.** Opyt ispolzovaniya I obezvrezhivaniya stokhnykh vod v selskom khozyaistve. – Tashkent: UzNIINTI, 1984. – S. 407 [in Russian]
- [8] **Baymakhanov, O.S.**, Shomantaev A.A., Daldabaeva G.T., Otarbaev B.S., Akyibaev K.I., Shegenbaev A.T., Tasboget kentinin modul'dik biologiyalyk tazartu stantsiyasynyn aumagynda ornalaskan tazhiribe uchaskesinin topyrak kunarlylygy zhane gidrogeologiyalyk zhagdaylary. Korkyt Ata atyndagy Kyzylorda universitetinin khabarshysy, 2024. – №3 (70), <https://doi.org/10.52081/bkaku.2024.v70.i3.182> [in Kazakh]
- [9] **Gazda, S.**, Goldberg V.M. Gidrogeologicheskie osnovy okhrany podzemnykh vod. Izdanie: Nedra, Moskva, 1984. – 262 s. [in Russian]
- [10] **Goldberg, V.M.**, Otsenka zashchishchennosti podzemnykh vod po Goldbergu. Moskva, 1984. – 262 s. [in Russian]
- [11] Ukazaniya po opredeleniyu raschetnikh gidrogeologicheskikh kharakteristik SN 435 – 72. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1972. – 34 s. [in Russian]
- [12] Vsesoyuzny nauchno-issledovatel'skiy institut gidrogeologii I inzhenernoy geologii (VSEGINGEO). [in Russian]
- [13] Goldberg V.M., Melkanovitskaya S.G., Lukyanchikov V.M. Metodicheskie rekomendatsii po vyyavleniyu I otsenke zagryazneniya podzemnykh vod. M: VSEGINGEO, 1988. – 61 s. [in Russian]
- [14] **Kaldarov, M.K.** Gidrologicheskie usloviya oroshaemykh zemel nizovev reki Syrdari. // Sb. N.tr. Sovershenstvovanie meliorativnykh system I tekhnologii orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur v Kazakhstane. Tashkent, 1985. – S. 129–133. [in Russian]
- [15] **Tikenova, L.F.** Formirovanie podzemnykh vod plato Karay antropogennym vozdeystviem: Avtoref. dis. kand. g-m nauk. – Almaty, 1989 – 18 s. [in Russian]
- [16] **Shomantaev, A.A.** Gidrokhimicheskiy rezhim vodotokov selskokhozyaystvennoe ispolzovanie stokhnykh I kollektorno-drenazhnykh vod v nizovyakh reki Syrdari. Kyzylorda, 2001 g. – 254 s. [in Russian]
- [17] **Struchavichus, Z.V.** Kruglogodovoe selskikhhozyaystvennoe ispolzovanie I ochistka stokhnykh vod maslosyrzavodov na drenirovannykh suglinistykh pochvakh. Litovskaya SSR. Avtoref. dis. kand. s-kh nauk. M., 1980. – 23s. [in Russian]
- [18] **Bajmakhanov, O.**, Umirzakov S., Abdukodirova M.N., Akyibaev K.I., Shegenbaev A.T., Daldabaeva G.T., Bulanbaeva P.U, Togindi sulardyn zher asty sularyna zhane malazyqtyq daqyldardyn quramyna aseri. Izdenister, natizheler, 2025. – №2 (106), <https://doi.org/10.37884/2-2025/45> [in Kazakh]
- [19] **Zubairov, O.Z.** Agromeliorativnye I vodookhrannye osnovy selskokhozyaystvennogo ispolzovaniya biologicheskii ochishchennykh stokhnykh vod I zhivotnovodcheskikh stokov v oroshemoy zone yuga I yugo-vostoka Kazakhstana. Avtoref. dok. dis. Volgograd, 1992. – 47 s. [in Russian]
- [20] **Musaev, A.I.** Vodny rezhim pochvy pri oroshenii kormovykh kultur gorodskimi stokhnymi vodami na svetlykh serozemnykh pochvakh yugo-vostoka Kazakhstana. Avtoref. dis. kand. s-kh nauk. Volgograd, 1985. – 21 s. [in Russian]

ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЁТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВСЛЕДСТВИЕ ОРОШЕНИЯ СТОЧНЫМИ ВОДАМИ

Далдабаева Г.Т.^{1*}, кандидат технических наук

Шомантаев А.А.¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Умирзаков С.И.¹, доктор технических наук, профессор

Байманов Ж.Н.², кандидат технических наук, доцент

Отарбаев Б.С.¹, кандидат сельскохозяйственных наук

Көпен М.Б.¹, докторант 3 курса по ОП 8D08675 - “Водное хозяйство и землеустройство”

Аннотация: В условиях интенсивного развития орошаемого земледелия проблема использования сточных вод в сельском хозяйстве в настоящее время является одним из актуальных научных направлений с точки зрения экологической безопасности, рационального управления водными ресурсами и сохранения мелиоративного состояния почв. В регионах с нарастающим дефицитом водных ресурсов, в том числе на юге и юго-западе Казахстана, эффективное применение очищенных сточных вод в целях орошения рассматривается как альтернативный путь водосбережения. Однако при орошении сточными водами возникает ряд сложных процессов, влияющих на гидрогеохимический режим почв и подземных вод.

В статье всесторонне исследовано влияние орошения сточными водами на гидрогеохимический состав подземных вод, инфильтрационные процессы и миграцию химических элементов в почвенном профиле. При различных нормах орошения оценены фильтрационные свойства почвы и проанализирована степень задержания основных компонентов сточных вод (азота, фосфора, кальция, магния, хлора, сульфатов). По результатам исследований установлено, что почвенный слой толщиной 50–100 см эффективно поглощает 60–100% химических примесей сточных вод. При норме орошения 900–1100 м³/га наблюдается высокий уровень естественной биофильтрации и снижение риска загрязнения подземных вод. Вместе с тем доказано, что длительное орошение может привести к увеличению минерализации подземных вод. В статье представлены научно обоснованные рекомендации по мониторингу качества подземных вод, оценке гидрогеологических условий и безопасному использованию сточных вод в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: сточные воды, подземные воды, орошение, почва, гидрогеология

PREDICTIVE CALCULATION OF GROUNDWATER CONTAMINATION CAUSED BY IRRIGATION WITH WASTEWATER

Daldabayeva G.T.¹, Candidate of Technical Sciences

Shomantayev A.A.¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Umirzakov S.I.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

Baimanov Zh. H.², Candidate of Technical sciences, Associate Professor

Otarbayev B.S.¹, Candidate of agricultural sciences

Kopen M.B.¹, 3-rd year doctoral student 8D08675 Water and Land Management

¹*Korkyt Ata Kyzylorda University, Republic of Kazakhstan*

²*I. Zhakhayev Kazakh Rice Research Institute, Kyzylorda, Kazakhstan*

Annotation. Under conditions of intensive development of irrigated agriculture, the problem of wastewater use in agriculture is currently one of the most relevant scientific areas from the standpoint of environmental safety, rational water resources management, and preservation of the reclamation status of soils. In regions experiencing increasing water scarcity, including the southern and southwestern parts of Kazakhstan, the effective use of treated wastewater for irrigation is considered an alternative approach to water conservation. However, irrigation with wastewater leads to a number of complex processes that affect the hydro geochemical regime of soils and groundwater.

The article provides a comprehensive analysis of the impact of wastewater irrigation on the hydro geochemical composition of groundwater, infiltration processes, and migration of chemical elements within the soil profile. Under different irrigation rates, the filtration properties of soils were evaluated, and the degree of retention of the main wastewater components (nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium, chlorine, sulfates) was analyzed. The research results showed that a 50–100 cm soil layer effectively absorbs 60–100% of the chemical impurities in wastewater. At irrigation rates of 900–1100 m³/ha, a high level of natural bio filtration and a reduced risk of groundwater contamination were observed. At the same time, it was proven that long-term irrigation may lead to an increase in groundwater mineralization. The article presents scientifically grounded recommendations on groundwater quality monitoring, assessment of hydrogeological conditions, and safe use of wastewater in agriculture.

Keywords: wastewater, groundwater, irrigation, soil, hydrogeology.