

## **Қазақстанның тұрақты дамуы үшін табиғи бағдарланған бассейндік су алабы бар жер асты су қабатын тасқын суларды жинақтау (MAR) арқылы толықтыру**

Жанай Сағын, [j.sagin@kbtu.kz](mailto:j.sagin@kbtu.kz)

### **Жер асты су қабатын тасқын суларды жинақтау (MAR) арқылы толықтыру**

Жер асты су қабатын толықтыруды басқару (Managed Aquifer Recharge - MAR) – бұл даланылған су қорларын қалпына келтіру немесе қоршаған ортаны қорғау пайдасы үшін жер асты су қабатын қар, тасқын су, жаңбыр суы, тазартылған ағынды су, өнеркәсіптік, ішуге жарамсыз жер үсті сулары сияқты әртүрлі су көздерімен толықтыруды қамтитын су ресурстарын басқарудың мақсатты жүйесі. Бұл әдіс әсіресе құрғақ және жартылай құрғақ аймақтарда су тапшылығының тұрақты шешімі ретінде бүкіл әлемде мойындалды [1,2].

### **Неліктен MAR Қазақстан үшін қажет?**

Қазақстан жер аумағы үлкен және суды пайдаланудың көбінесе тиімсіз әртүрлі әдістері мен технологиялары бар жауын-шашынның маусымдық өзгерістерін бастан кешіретін ел болғандықтан, бұл су ресурстарын басқаруда қиындықтар туғызады. Бірнеше трансшекаралық өзен бассейндерінің соңында орналасқандығынан судың ысырабының жоғары болуы мен ластануы еліміздің жер үсті суларына тәуелділігі мен қоса көрші елдерге тәуелділігі Қазақстанның тұрақты дамуына қиындықтар туғызады. Ерте көктемде су тасқыны көрсеткішінің жоғарылауымен және жазда қатты құрғақшылықпен сипатталатын климаттық ауытқулар бұл мәселелерді одан әрі ушықтырады. Көктемгі су тасқыны кезінде Қазақстан тұрғындары артық сумен күресу үшін жиі қиналады, оны төмен қарай ағызып жібереді де, салдарынан төмен орналасқан көршілеріне көптеген қиындықтар туындатады. Көктемгі су тасқыны кезінде тұрғындардың өздеріне жақын, үйлерінің немесе елді мекендерінің маңындағы тасқын суларын одан әрі жазда, құрғақшылық кезінде пайдалану үшін сақтаудың дұрыс ұтымды бағдарламасы жоқ. Жазғы құрғақшылық егінді суару үшін айтарлықтай су тапшылығын тудырады, бұл ауыл шаруашылығы өнімділігіне әсер етеді. MAR бүкіл Қазақстан бойынша су қауіпсіздігін жақсартуға, жер асты суларының қорларын толықтыруға және тұрақты су ресурстарын басқару тәжірибесіне қолдау көрсетуге болашағы зор және тұрақты тәсілді ұсынады. Су мол болған кезеңдерінде артық суды стратегиялық түрде жинап алу және сүзу арқылы MAR су тасқыны қауіпін азайтады және жазғы құрғақшылық үшін суды үнемдей алады [1-4]. Қар мен тасқын суын жинауды су ағынын басқарумен үйлестіретін жергілікті MAR технологияларын бүкіл Қазақстан бойынша кеңінен енгізуге болады. Бұған орманды қорғау белдеулерін енгізу, соңында су жинақтайтын тоғандарға жалғанған жерлерді контурлық жолақпен ұйымдастыру, тасқын суларын жинақтауға және жер асты су қабаттарын толықтыруға негізделген шығындармен су қоймаларының бөлінген желісін тиімді құру арқылы қол жеткізуге болады (1, 2, 3, 4 суреттер).

## Қардың, еріген және тасқын суларының жиналуы

Қардың еруі Қазақстанда көктемгі су тасқынын тудыратын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Қар еруі мен су тасқынының қозғалысы үшін тиімді су жинау жүйелерін енгізу Қазақстанның көптеген аймақтарында судың тұрақтылығын арттырудың негізгі стратегияларының бірі ретінде оңтайлы түрде жүзеге асырылуда. Бұл стратегияны табиғатқа мойынсұнып, судың табиғи ағынын құрметтей отырып ұтымды жүзеге асыру керек [4]. Ықтимал ауқымды су тасқынына дейін су қозғалысын және еріген қар суы біртіндеп сақталуы мүмкін табиғи ойпандарды анықтай отырып, аймақтың табиғи рельефіне негізделген жер бедерін бейімдеу үшін минималды түзетулер оңтайлы түрде жүзеге асырылады. Бұл стратегия еріген қардың ықтимал қозғалысын, оның жиналуын және ақырында жер асты су қабатына енуін бақылауға көмектеседі. Тасқын суын жинау жүйесі әр түрлі су қоймалары бар жер бедері негізінде жобалануы мүмкін. Төменде ерте көктемде қойма тоғанына түсетін қар тасқынының сценарийі берілген.



1 сурет. Ерте көктемде қойма тоғанына судың қозғалысын көрсететін қар тасқыны суын жинау жүйесі. *Еріген қар ағыны арнасы (жоғарыда ортада):* Жоғарғы жағында қоршаған ортадан лас

қоңыр суды сақтау тоғанына белсенді түрде тасымалдайтын мөлдір бұралған арна көрінеді. Бұл арнаның жағалары мен оған іргелес аумақтар еріген судың қайнар көзін көрсететін қалдық ақ қармен сипатталады. *Жинақтаушы тоған (орталық – үлкен дөңселек тоған)*: Үстем ерекшелігі үлкен жинақтаушы тоған болып табылады. Ол суспензиялы топырақты тасымалдайтын еріген ағынды суларға тән қоңыр, лайлы судың айтарлықтай көлемімен толтырылған. Тоған бетінде ақ мұз бен еріген қардың үлкен, біркелкі емес бөліктері қалқып тұратынын атап өткен жөн. Тоғанның негізгі рөлі - су тасқынының қаупін азайту және болашақта пайдалану үшін үлкен су ағынын жинау және сақтау. *Белгіленген жерлер (барлық жерде)*: Тоғанды қоршап тұрған кең аумақтар жалаңаш, қара сұр-қоңыр жер ретінде бейнеленген. Бүкіл ландшафт бойынша жұқа сермелген жолақтар түріндегі жерлерді контурлық-жолақты ұйымдастырудың айқын сызықтары. Бұл контурлар еріген қар ағынын жинау арнасына тиімді бағыттауда және топырақ эрозиясын азайтуда маңызды рөл атқарады [3,4]



2 сурет. Тоғандар жүйесіндегі көктемнің аяғында/жаздың басындағы ықтимал жағдайды көрсететін қардың еріген тасқын суын жинау жүйесі. *Еріген суды жинау арнасы (жоғарғы орталық)*: Кескіннің жоғарғы жағындағы көрінетін арна айналадағы еріген судың бастапқыда қай жерде жиналатынын көрсетеді. Бұл арна суды негізгі жұмыс аймағына бағыттайды. *Тұндыру тоғаны (сол жақтағы үлкен тоған)*: Сол жақтағы бірінші үлкен тоған – тұндыру тоғаны. Мұнда аудандардан шыққан шөгінділер мен қоқыстарды қамтитын бастапқы тасқын сулары тұнады.

Ауыр бөлшектер түбіне шөгіп, тазартылған су келесі кезеңге өткенге дейін суды тазартады. *Жинақтаушы тоған (оң жақта үлкен тоған)*: Тұндыру тоғанының жанында алыс бұрышта оң жақта үлкен қойма бар. Бұл су қоймасы шөгінділерден ішінара тазартылған суды сақтауға арналған үлкен резервуар қызметін атқарады. Су қоймасы суаруға немесе одан әрі тазартуға техникалық пайдалану үшін суды үздіксіз жеткізуді және жергілікті тұрғындарды, соның ішінде ауыл тұрғындарын шаруашылық-ауыз суға пайдалану мүмкіндігін қамтамасыз етеді. *Биомасса тоғандары (төменгі оң жақта кішігірім тоғандар)*: Екі шағын дөңгелек тоған биомасса тоғандары болып табылады. Бұл тоғандар суды табиғи түрде сүзіп, тазарта алатын, артық қоректік заттардың ластаушы заттарын жоя алатын су өсімдіктерін немесе микроорганизмдерді (биомасса) өсіруге арналған. Бұл биологиялық тазарту кезеңі. *Жер асты су қабаты (тоғандардың астында)*: Жер асты сулы қабаты тоған жүйесінің астында орналасқан. Бұл жер асты су қабатына жиналған және тазартылған суды жергілікті тұрғындар пайдалана алады немесе су жергілікті жер асты суларының қорын толтыру үшін жерге одан әрі сіңізіп, болашақта қоғамдастықтың пайдалануы үшін ұзақ мерзімді су көзін қамтамасыз етеді. *Айналадағы аумақ және контур жолақтары (фон)*: Айналадағы ландшафт көрінетін контурлық жолақтары бар кең жасыл аймақтардан тұрады. Бұл жердің контурын сақтай отырып, өсімдіктерді қатарлап отырғызатын, топырақ эрозиясын азайтуға және су ағынын жинақтау тоғандарының жинау жүйесіне бағыттау арқылы тиімдірек басқаруға көмектесетін контурлық жерді орналастыру әдістері [3.4].

## Sustainable Water Management

Snow Flood Water Collection



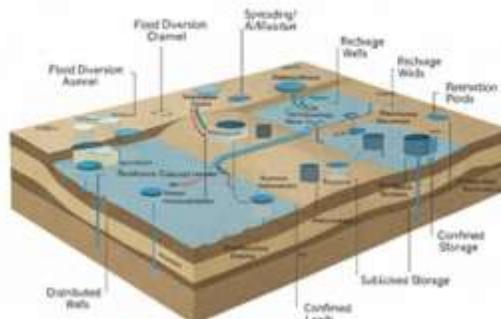
Forest Shelter Belts



Contour Strip Farm Land Organization



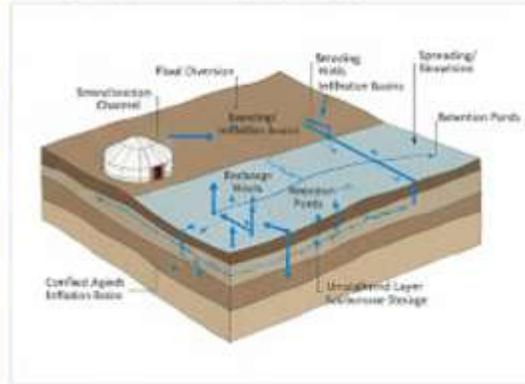
Managed Aquifer Recharge (MAR) Applications



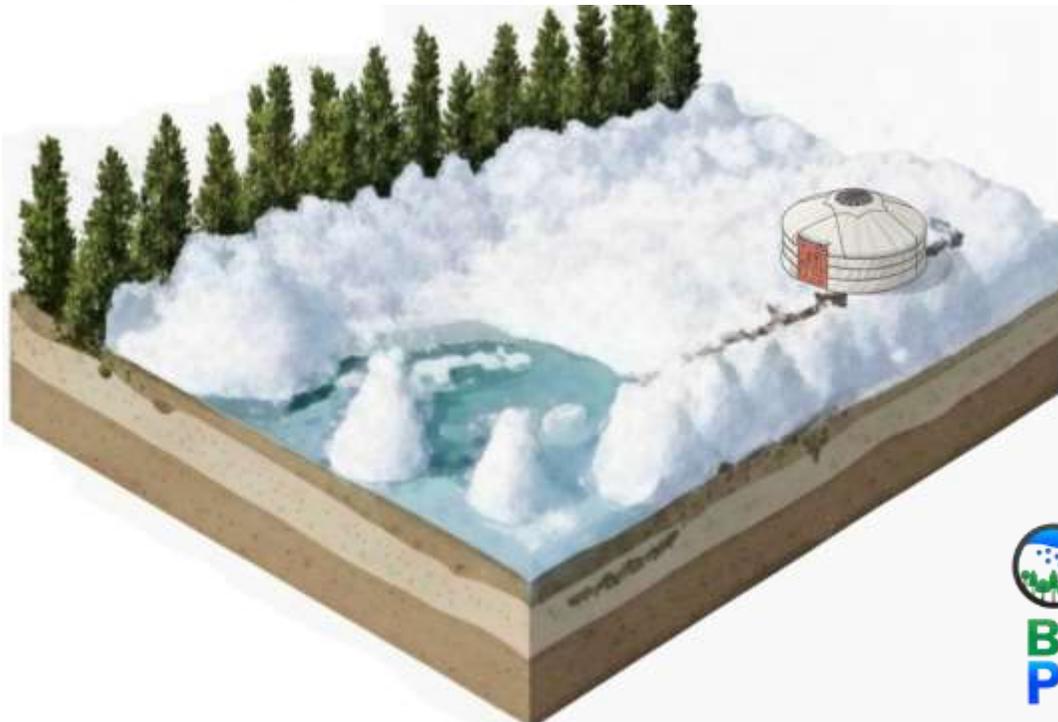
Contour Strip Farm Land Organization



Managed Aquifer Recharge (MAR) Applications

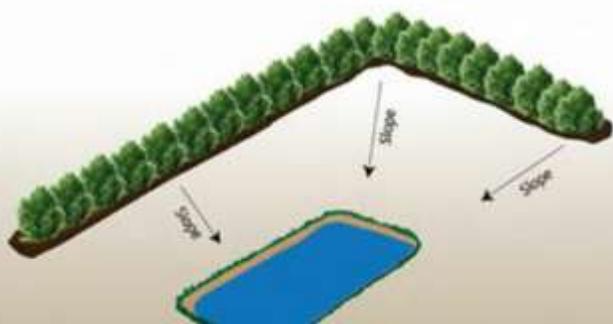


3 сурет. Қардың еруі Қазақстандағы көктемгі су тасқынын тудыратын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Қардың еруінен су тасқыны кезінде тиімді су жинау жүйелерін енгізу өте маңызды. Бұл аумақтың табиғи рельефін және судың табиғи қозғалысын ескеретін инфрақұрылымды құруды қамтиды, еріген қарды жаппай су басуын тудырмай тұрып сақтау мүмкіндігі бар және кейіннен сулы горизонттарға инфильтрацияны бақылауға мүмкіндік береді. Ірі инженерлік құрылыс жұмыстарының табиғатқа араласуын барынша азайту маңызды. Бұл ең алдымен диагностиканы, табиғатты бақылауды және судың табиғи қозғалысын бақылауды қамтиды [4]. Бұл адам ағзасын максималды диагностикамен емдеу, ауыр операция немесе бөлшектеу мүмкіндігін жою сияқты. Табиғат жағдайында су ағынына қарсы тұру үшін үлкен бөгеттер салу сияқты табиғатқа қарсы әрекет ету арқылы кедергілерді жою. Моңғолия мен канадалық үндістер насихаттайтындай табиғатқа бейімделу, табиғатты құрметтеу икемділігін қамтамасыз ететін ұмыт бола бастаған қазақ дәстүрін нығайтып, мобильді киіз үйлерді Қазақстанда пайдалану маңызды. Канадалық үндістер табиғатты, судың қозғалысын, табиғи жер бедеріне бейімделу үрдісін құрметтейді [3,4].

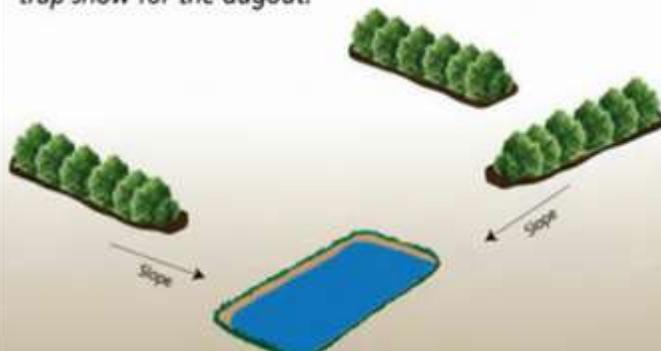




**DESIGN A.** A dugout shelterbelt designed to protect the dugout and to trap snow.



**DESIGN B.** A dugout shelterbelt designed primarily to trap snow for the dugout.



4 сурет. Орман алқаптары суды басқаруда екі есе рөл атқарады: жел эрозиясын азайтады және қардың жиналуын арттырады. Дұрыс жобаланған ағаш қатарлары қардың мүмкіндігінше қол

жетімді жиналуын қамтамасыз ете алады және қажетті ағынды суды сақтау тоғанына бағыттай алады. Дұрысында, ағаштарды қарды ұстау және басым желдің әсерінен булануды азайту үшін жинақтаушы тоғанның солтүстік және батыс жағына отырғызу керек. Оңтүстік және шығыс жағындағы қорғаныс жолақтары да тиімді қар тұзағы болуы мүмкін, мұнда жел көп қардың жиналуына ықпал етеді [3-7]



5 сурет. Еріген қар мен көктемгі ағын су тоғандарды толтыру үшін маңызды су көзі бола алады. Орманды қорғау жолақтары су қоймаларын толтыру үшін қардың едәуір мөлшерін ұстап

қалуы мүмкін. Ағаштар мен бұталарды қатар-қатар отырғызу арқылы бұл жолақтар желдің жылдамдығын айтарлықтай баяулатып, құнды топырақтың ұшып кетуіне жол бермейді. Орманды қорғау жолақтары қардың біркелкі таралуына және баяу еруіне, қарды ұстап тұруға, судың топыраққа жақсы енуіне ықпал етеді. Орманды қорғау жолақтары қыста табиғи қар бөгеттері ретінде әрекет етеді, еріген кезде топырақты баяу қанықтыратын қар үйінділерін жинайды және ылғалды одан әрі сақтай отырып, топырақ бетінен булануды азайтатын микроклимат жасайды. Жерді контурлық жолақты ұйымдастыру, өсімдік жамылғысын жер контуры бойымен кезектесіп отырғызумен бірге, жер бедерінің беткейлерінде топырақ эрозиясының алдын алуда және су ағынын басқаруда жоғары тиімділікке ие. Табиғи биіктік сызықтарымен бойлай бағыттаса, контурлық жолақтар су ағынының жылдамдығын төмендетеді, бұл судың топыраққа енуіне көбірек уақыт береді. Қар еритін тоғандар жасау әлемнің көптеген елдерінде, соның ішінде Канадада, қар жиналатын елді мекендердің жанында арнайы аумақтар құрылуда, соның ішінде елді мекендердің жанындағы жинақтаушы тоғандардың жанында үлкен қоймаларда қарды бульдозерлермен итереді. Одан әрі бұл суды жаз мезгілінде пайдаланылады [3-7].

### **Қазақстан үшін MAR артықшылықтары**

- Су қауіпсіздігін жақсарту: құрғақшылық пен климаттың өзгергіштігіне қарсы буфер құру арқылы жер үсті суларының өзгермелі қорларына тәуелділікті азайтады.
- Жер асты суларын толықтыру: сарқылған Сулы горизонттарды толықтыру, жер асты суларының төмендеу тенденцияларын кері қайтару.
- Судың сапасын жақсарту: шөгінділерді үнемі бақылап отыратын топырақ арқылы табиғи сүзу және ластаушы заттарды кетіретін жиналмалы тоғандардағы жоғарғы тұнба шөгінділерін тазарту, қоректенетін судың сапасын жақсарту.
- Булану шығындарын азайту: суды жер астында сақтау үлкен су қоймаларына тән беттік булануды азайтады.
- Сенімді сумен қамтамасыз ету: сенімді су көзін қамтамасыз етеді, әсіресе құрғақ және ұзақ уақыт бойы жер үсті сулары жоқ мезгілдерде.
- Экологиялық және экономикалық пайда: өзендер мен сулы-батпақты жерлердегі негізгі ағындарды сақтау арқылы экожүйенің жағдайын қолдайды, ұзақ мерзімді сорғы шығындарын азайтады және су ресурстарының тұрақтылығына ықпал етеді.
- Траншекаралық тәуелділіктің төмендеуі: Қазақстан бірнеше трансшекаралық өзен бассейндерінің соңында орналасқан, мұнда көрші елдер су тасқынынан құтылуға тырысып, аумақтардың биіктік деңгейінен төмен көршілерге су жіберіп қиындықтар туғызады және керісінше, су тасқыны кезінде суды ұстап қалу арқылы жазғы уақытта суға ең үлкен сұранысқа алып келеді. Қазақстан су тасқынын жинақтаудың жергілікті жүйесін құра отырып және MAR технологиялары бойынша болашақта суды үнемдей отырып, су ресурстары бойынша трансшекаралық тәуелді болмайды.

## Қазақстанда MAR енгізу мәселелері

- **Гидрогеологиялық бағалау:** Сулы горизонттың тиісті сипаттамалары, топырақ түрлерінің сапасы, Қазақстан өңірлерінің гидрогеологиясы бар қолайлы учаскелерді анықтау үшін әр түрлі уақыт кезеңдерінде мұздату, тығыздық, топырақтың инфильтрация деңгейін талдай отырып, мұқият зерттеу қажет.
- **Су сапасы:** Сулы горизонттың ластануын болдырмау үшін бастапқы қоректендіру суының сапасы мұқият бақылануы және қажет болған жағдайда тазалануы керек. Жетісу облысының Көксу политехникалық колледжінде АҚШ-тың фермерлік оқушыларын оқыту тәжірибесі бойынша ілгерілетілетін ұқсас бағдарламаларды енгізе отырып, оқушыларды қоса алғанда, су сапасын талдау бойынша жергілікті білімнің, оның ішінде өңірлерде, Қазақстан ауылдарында біліктілігін арттыру және күш-жігерін жұмсау қажет, <https://youtu.be/2vi75468Ohg>
- **Инфрақұрылымды дамыту:** еріген қар мен тасқын суды MAR жерасты көкжиектеріне жылжыту жолдарын талдау үшін жергілікті топографияны тиісті геодезиялық зерттеулермен инфрақұрылымды жақсартуды талап етеді.
- **Нормативтік-құқықтық база:** салықтық жеңілдіктерді, салықтарды азайтуды және жергілікті өңірлерде, индустрия мен жергілікті тұрғындар үшін MAR енгізу үшін салықтарды пайдалануды қоса алғанда, мүдделілік ынталандыруларын құра отырып, Қазақстан үшін MAR ережелерінің саясатын әзірлеу қар жинаумен, су тасқынына дайындықпен, Қазақстанның жерасты Сулы қабатында суды сақтаумен айналысу.
- **Әлеуетті арттыру:** жергілікті сарапшылар мен мүдделі тараптарды ұқсас халықаралық тәжірибені зерттей отырып, MAR жобалау, пайдалану және техникалық қызмет көрсету бойынша оқыту, <https://floodmar.org/>, <https://www.inowas.com/>

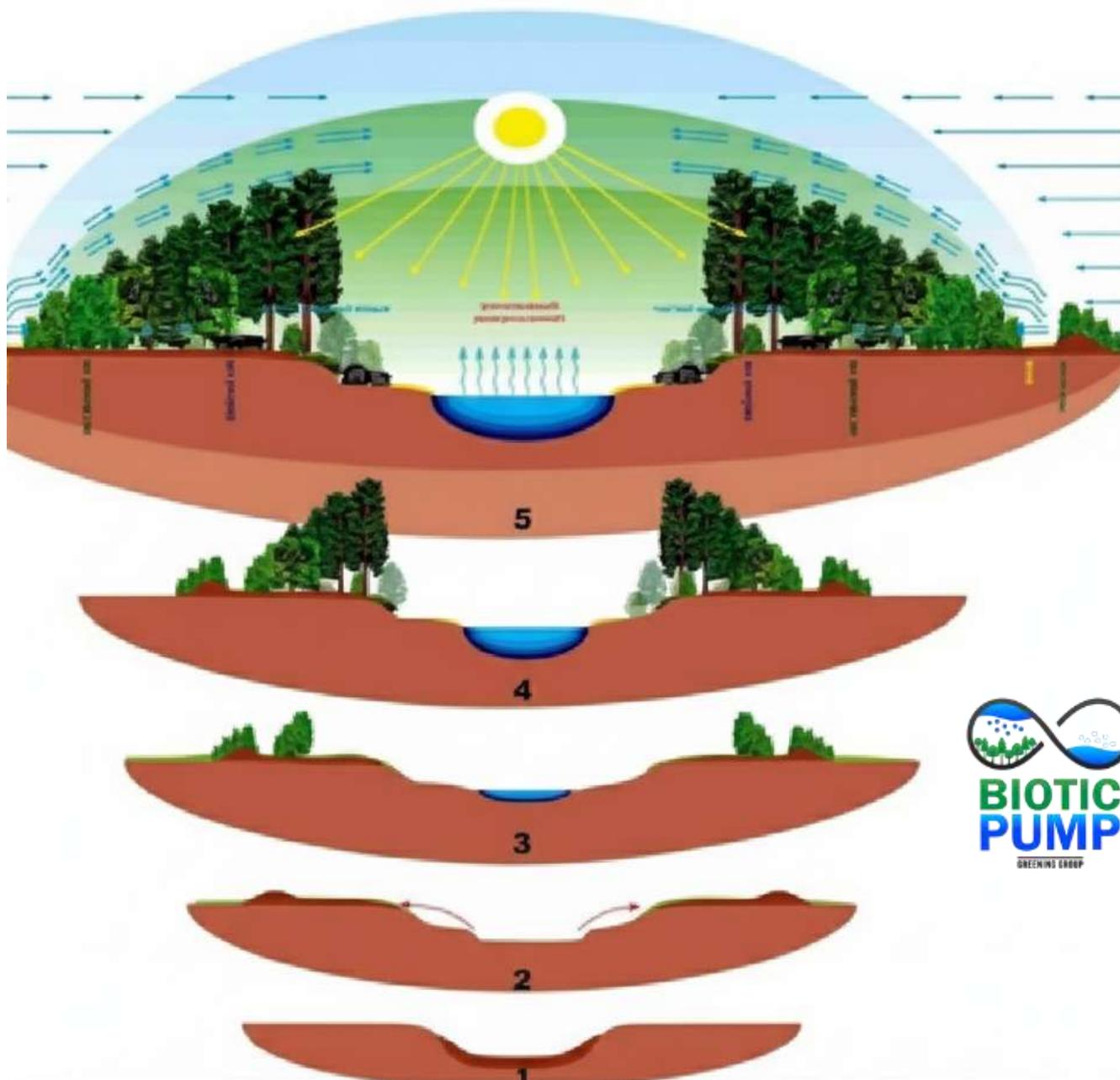
## Қазақстан жерлерінің тұрақтылығын жақсарту

Қазақстандағы жер деградациясы мәселелері барған сайын күрделене түсуде. Бірнеше он жылдықта Қазақстанда жер пайдалану жағдайы күрт нашарлады, бұл кешенді бағалау мен қалпына келтіруді талап етеді. Қазақстан климаттың өзгеруіне, қарқынды антропогендік қиындықтарға, монокультуралық дәнді дақылдарды пайдалана отырып, өнеркәсіптік ауыл шаруашылығының агрессивті әдістеріне, Қазақстанда топырақтың сарқылуына байланысты көптеген мәселелерге тап болады. Су тасқыны эрозиясы және шөлейттенуді тудыратын құрғақшылықтың күшеюі, сондай-ақ пестицидтерді, нитраттарды және фосфаттарды қарқынды қолдану кең таралған. Ауыл шаруашылығы алқаптарын мелиорациялаудың тұрақтылығын жақсартуды топырақ сапасын, геологияны және MAR енгізу мүмкіндіктерін қоса алғанда, бүкіл Қазақстанға таратқан жөн. Орман қорғау белдеулерін дайындаумен жерді контурлық-жолақты ұйымдастыру, жергілікті жердің рельефін зерттеу және бейімдеу Қазақстан жерлерінің тұрақтылығын арттыру жөніндегі осындай бағдарламалардың бірі болуы мүмкін. Қазақстанның көптеген өңірлерінде қар жинау, тасқын суларды жинау және топырақта ылғалды ұстау технологиялары, оның ішінде орман қорғау жолақтарымен үйлесімде MAR нашар іске асырылуда. Мұндай мәселелердің себебі уақыт пен алдын ала инвестициялар талап етілетін Қазақстан жерлерін пайдаланудың тұрақтылығын арттыру үшін неғұрлым табиғи бағдарланған шешімдерді енгізу мен бейімдеуде Қазақстанның жергілікті

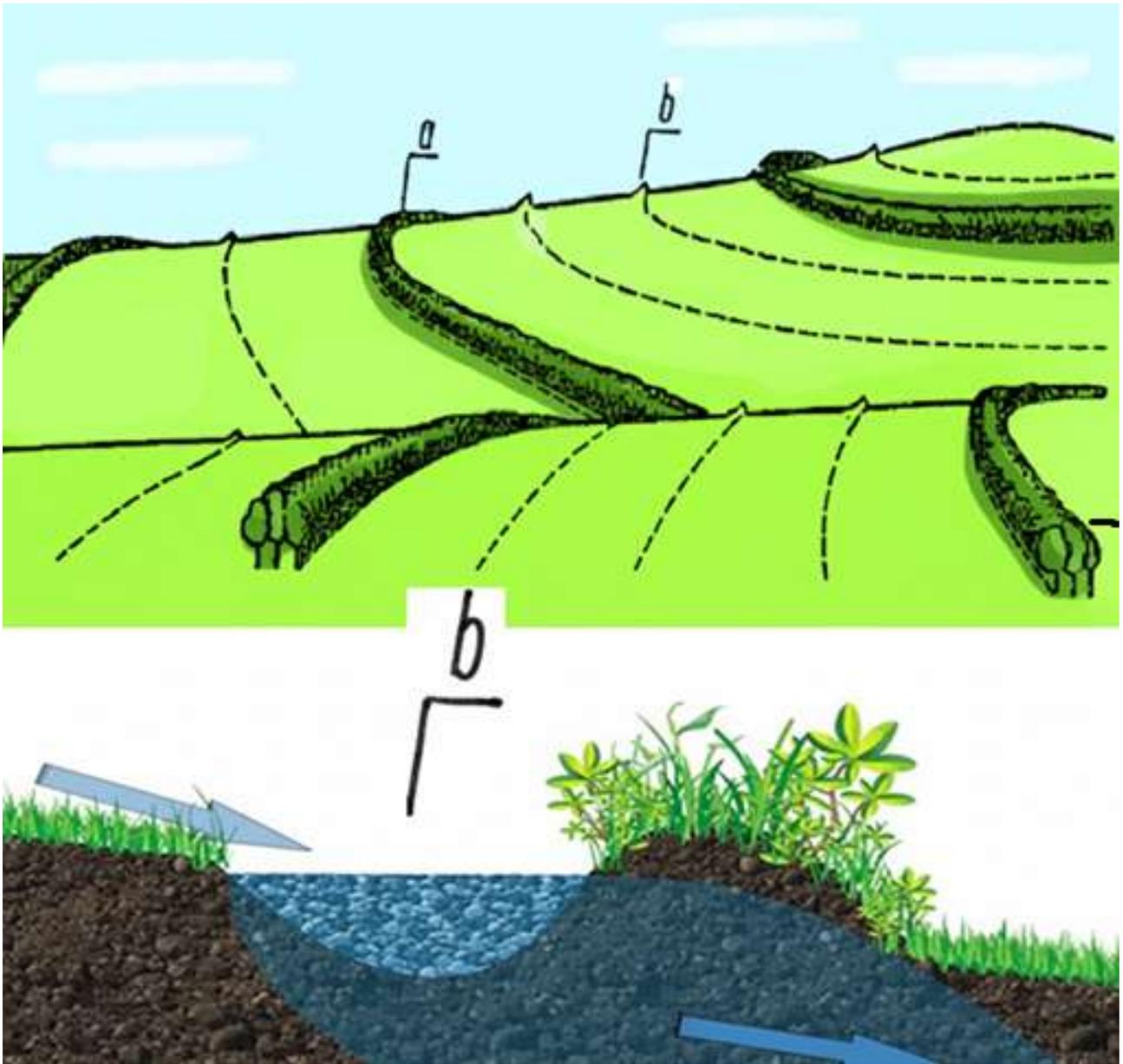
тұрғындары үшін ынталандырудың жеткіліксіздігімен байланысты болуы мүмкін. Қазақстандық жергілікті тұрғындардың көпшілігі қысқа мерзімде бірдеңе жасауға мәжбүр. Банктік несиелердің көпшілігі қысқа мерзімге беріледі. Қазақстанда қолайлы пайыздық мөлшерлемелері бар ұзақ мерзімді банктік кредиттерді алу қиын. Соңғы бірнеше онжылдықта Қазақстанда алдыңғы кезеңдерде қар ұстау үшін пайдаланылған алдыңғы ірі субсидиялар күрт қысқарды, орманды қорғау белдеулерін қолдау бағдарламалары Қазақстанда іс жүзінде жоғалып кетті, топырақ ылғалдылығын сақтау жөніндегі іс-шаралар, орман шаруашылығын жақсарту жөніндегі іс-шаралар да нашар ілгерілеуде. Орманды контурлық жолақтар бойынша отырғызудың, ландшафттың топографиялық дизайнының табиғи әдістері қазіргі уақытта Қазақстанның көптеген өңірлерінде сирек қолданылады немесе қолданылмайды. Жерді пайдалану мәселелері топырақтың ылғалдан қорғау функцияларының жоғалуына және жердің тиімділігінің төмендеуіне әкелді. Қазақстан топырақтарының құнарлылығына агрохимиялық талдау, гидрогеологиялық бағалау, Су ресурстарының әлеуетін бағалауды табиғи бағдарланған шешімдерді кеңейте отырып, тұрақты негізде жүргізген жөн. Қазақстанның барлық өңірлерінде геодезиялық зерттеулер Қазақстанның барлық өңірлерінде локализацияланған техникалық және кәсіптік білім беру және оқыту (ТЖКБ) бойынша колледждер базасында дуалды білім беру бағдарламаларын дамыту арқылы практикалық қолданыста оңтайлы кеңейтілсін. Жер бедерінің топографиясын зерттеу жергілікті жердің цифрлық модельдерін (ЖЦМ) дайындау және MAR Сулы горизонттың басқарылатын толықтыруды енгізу үшін әлеуетті су жинау бассейнінің орналасқан жерін анықтау арқылы кеңейту орынды. Бұл стратегия жергілікті тұрғындардың өздері өңірлердегі өздерінің жергілікті мәселелерін шешуге белсенді қатысатын Қазақстан өңірлеріндегі төтенше жағдайларға (ТЖ) су тасқыны мен құрғақшылыққа арналған шығындар бойынша Қазақстан Үкіметінің бюджеттік шығындарын оңтайландыруға мүмкіндік береді. Қазақстан өңірлерінде орман қорғау белдеулерін дамыту үшін қаржылық ынталандырумен дуалды оқытудың жергілікті біліктілігін арттыру жергілікті деңгейде су мәселелерін шешуге ықпал етуі тиіс. Жер бедерін ескере отырып, суды жинаудың тиімді тәсілдерін қорғайтын орман жолақтарын дамытумен үйлестіру Қазақстанда жерді пайдаланудың тиімділігін арттырып, тұрақты дамуды қамтамасыз етуі керек. Бұл стратегия топырақ эрозиясын азайтады, топырақ сапасын жақсарту арқылы ылғалдың жиналуына ықпал етеді, топырақ суды ұстап тұру үшін сорғыш қызметін атқара алады деп күтілуде.

### **Табиғи су айналымын қалпына келтіру**

Атмосфералық ылғалдың булануындағы, транспирациясындағы және конвергенциясындағы өзгерістерді қоса алғанда, құрлықтағы су айналымындағы табиғи байланыстардың бұзылуы Қазақстанның бүкіл аумағындағы су балансына, биоәртүрлілікке және топырақ жүйелерінің тұрақтылығына айтарлықтай әсер етеді. Бірқатар зерттеулер өсімдік жамылғысының жақсаруымен жергілікті өзгерістер шағын ағындар мен өзендердің қалпына келуін жақсартатынын көрсетеді [8-18]. Ормандардың кесілуіне байланысты транспирацияның төмендеуі Амазонкадағы жауын-шашынның азаюына әкелген. Сонымен қатар, керісінше мысал ретінде, Қытайдағы Лесс үстіртіндегі ормандарды қалпына келтіру алдымен атмосфералық ылғалдың конвергенциясын төмендетіп, күшейтті [19-27]. Табиғи су айналымын қалпына келтіру төмендегі диаграммаларда жергілікті түрде көрсетілген (6-10 суреттер).

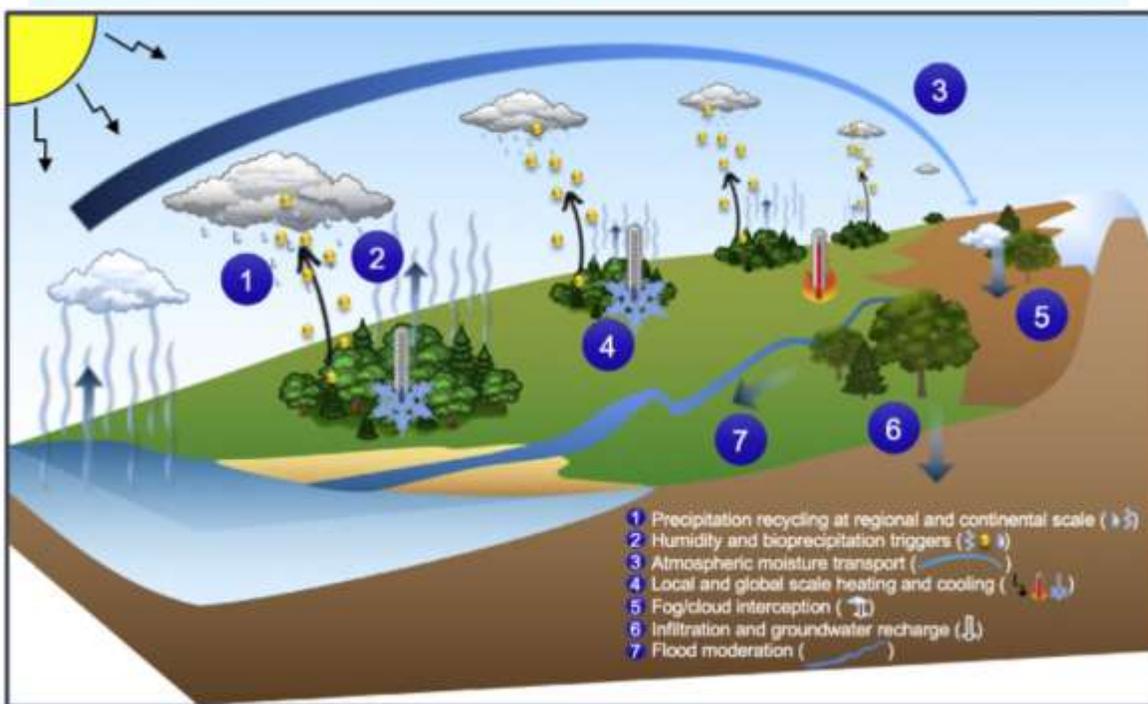
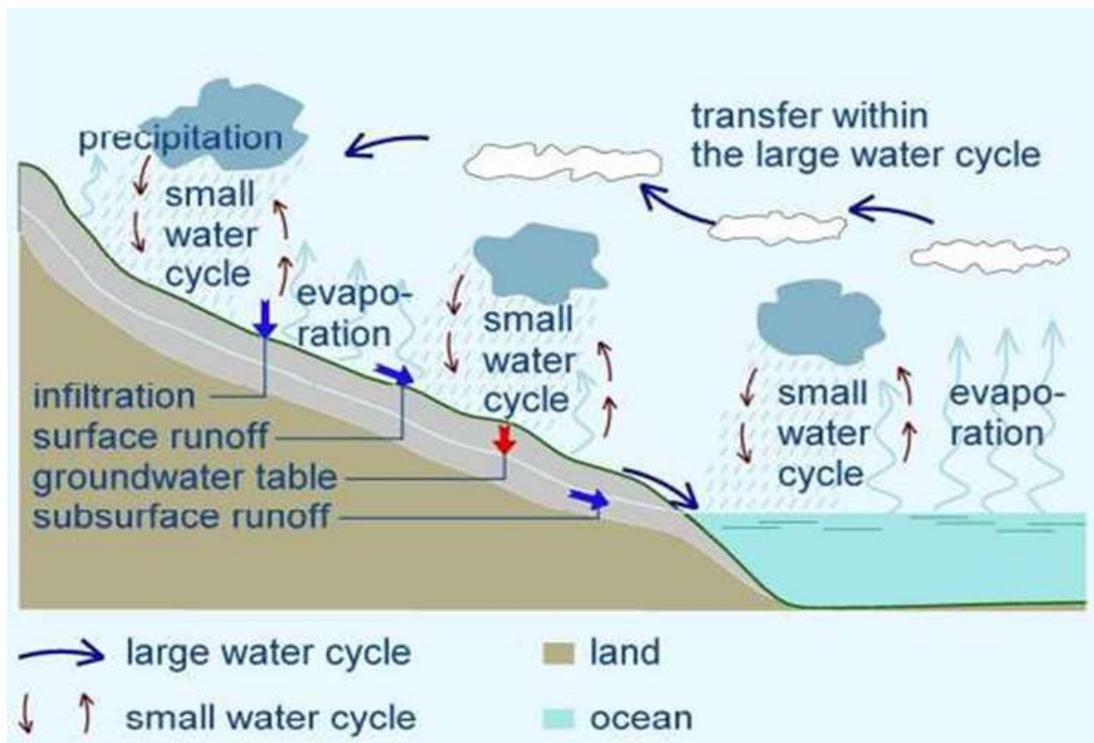


6 сурет. Табиғи су айналымын қалпына келтіру, модификацияланған сурет [28–30]. Орман өсіру судың табиғи айналымын қалпына келтіреді: жапырақтардың бетінен буланған ылғал атмосфералық ылғалдылықты арттырады, бұл бұлттардың пайда болуының бастамасы және жауын-шашын мөлшерін арттырады. Бұл процесс өз кезегінде ылғалдың конвергенциясын күшейтеді және орман алқаптары жергілікті және аймақтық су айналымын тұрақтандыратын және тіпті күшейтегін оң кері байланыс циклін жасайды. Қаныққан атмосферада булану бір уақытта жауын-шашынның да, ылғалдың да көбеюіне қабілетті. Осылайша, ағаш екпелері топырақтың сапасын жақсартады, топырақтың деградациясын болдырмайды, ландшафттың бұзылуын азайтады, сонымен қатар экожүйелердің ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін өзін-өзі қамтамасыз ететін ылғал айналымы механизмімен жұмыс істейді.



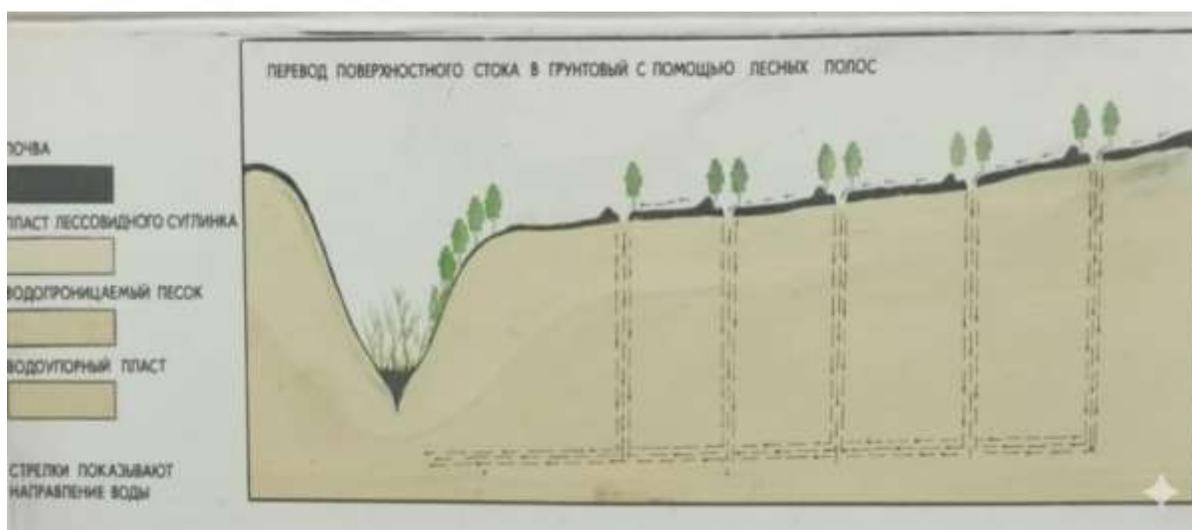
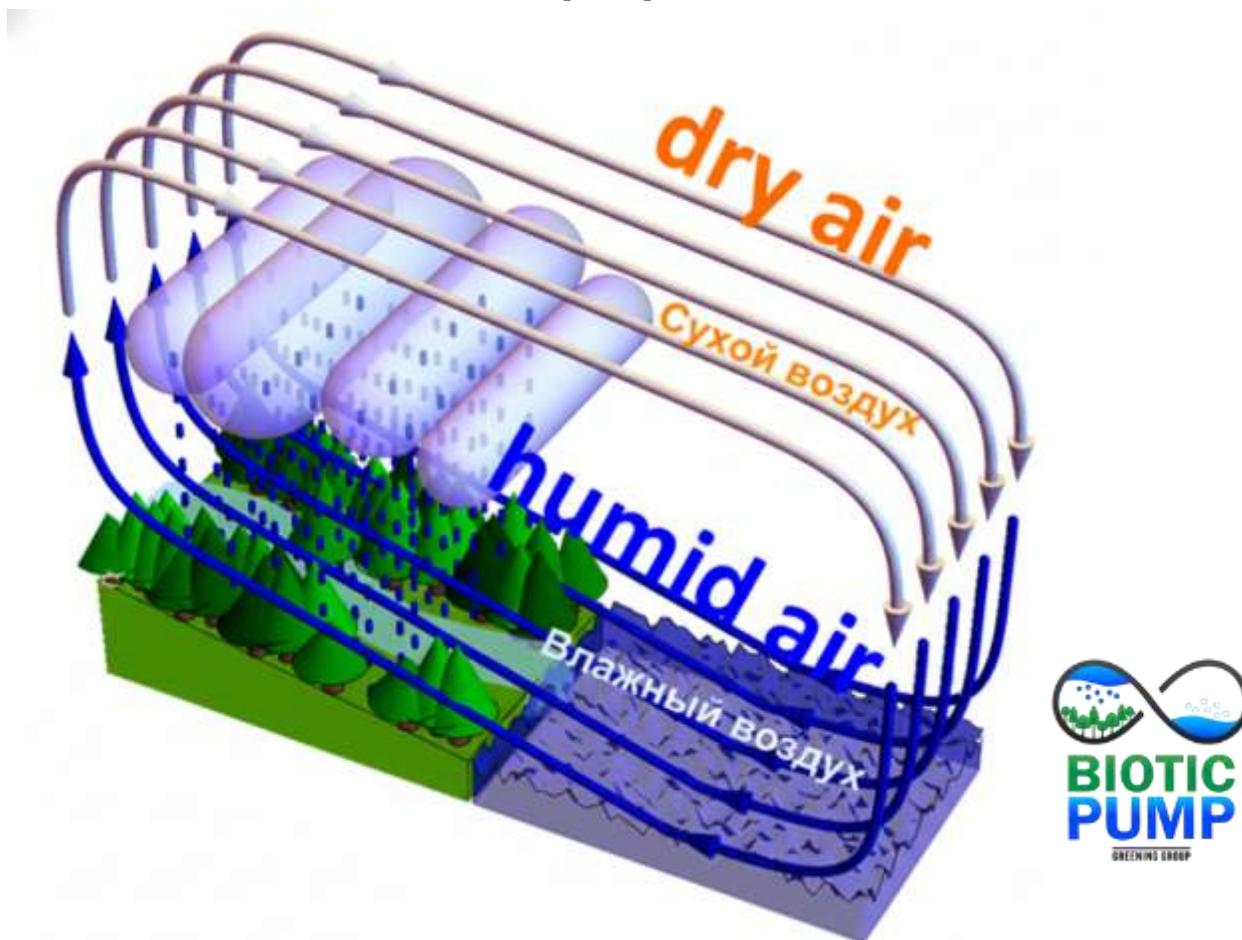
7 сурет. Орманды қорғау белдеулерінің орналасу схемасы. Орманды қорғау белдеулерінің орналасу схемасы: а) 40 см-ге дейін арықтары бар бермалар; (б) жердің контурлы-жолақты ұйымдастырылуы, суды ұстап қалу және топырақтың ылғал сыйымдылығын арттыру, сондай-ақ оның сапасы мен суды сорғыш тәрізді сіңіру қабілетін жақсарту, модификацияланған сурет [28-30]. Жер бедерінің еңістігіне байланысты контурлық жолақтардың ені 50-ден 500 метрге дейін болуы мүмкін. Жолақтың шекараларында кең негізді су сақтайтын үйінділер және әртүрлі органикалық қалдықтар, өсімдік сабақтары, жапырақтармен, бұрынғы егін жинаудан қалған қалдықтармен толтырылған су сіңіретін арықтар орнатылады. Органикалық материалы бар бұл су тіреуіш үйінділер 250-ден 500 метрге дейінгі аралықпен жабдыкталады. Органикалық толтырғыштары бар арықтардың ішінде биологиялық ыдыраудың қарқынды процестері жүреді, температура көтеріледі, жауын құрттарының саны артады. Топырақты жақсартудың мақсаты - суды сүзу технологиясы ретінде жұмыс істей отырып, суды сіңіре алатын табиғи сіңіргіш-топыраққа айналдыру. Жыл бойы жұмыс істей отырып, сапалы органикалық топырақ атмосфералық жауын-шашынға, тасқын суларға, суды сақтауға дайын болады, суды сіңіріп, табиғи топырақ-сіңіргішке айналады. Бұл табиғи гидрологиялық режим табиғи биоценозда

жүзеге асырылады. Бұл негізгі процесс биоценоздарда болатын табиғи процестердің барлық жиынтығынан беттік гидрологиямен байланысты. Жолақтардың ені климаттық, экологиялық, топырақ жағдайларына, көлбеу бұрышы мен көлбеу түріне, жауын-шашынның мөлшері мен сипатына, қар тасқынының сипаттамаларына, топырақтың қату тереңдігіне байланысты [28-31].



8 сурет. Орман екпелерінің локализацияланған сулы-батпақты жүйемен үйлесуі биологиялық процестермен жұмыс істейтін Biotic Pump биотикалық сорғысының айналым жүйесін жасайды. Ағаштар атмосфералық процестерге, ағаштар сіңіретін жауын-шашынның цикліне әсер етуі мүмкін және судың булануын одан әрі айналу үшін булану арқылы атмосфераға қайтарады. Булану атмосфералық қысымның төмендеуін

тудырады, бұл атмосферадан су буының араласуын кешіктіреді. Буланудың жоғарылауы бұлттар пайда болған кезде атмосфералық қысымның төмендеуіне әкеледі, бұл кейіннен ылғалды ауаның булануы көп мөлшерде болатын аймақтарға тартылуына әкеледі [32,33]



Сурет 9. Biotic Pump биотикалық сорғылары ағаштармен біріктірілген сулы-батпақты жерлерде жұмыс істейді. Су суды тартады. Ағаштар сулы-батпақты жерлердің топырақ аймағын бұлттардың ылғалдылығын тарту үшін жеткілікті ылғал сыйымдылығымен сақтайды. Жерді тұрақты басқару, ағаштардың контурлық жолақтарын жоспарлау және топырақ сіңіргіш тәсілдері жергілікті аймақтардағы биотикалық сорғылардың биотикалық сорғыларының жұмысын күшейтуге ықпал етеді. [32,33]



Сурет 10. Ағаштар булану арқылы жергілікті жерлерде жауын-шашынның ықтималдығын арттыра отырып, бұлттардан ылғалдың жиналуына ықпал етеді. Ағаштар ұшпа органикалық заттарда жапырақтарында гидроскопиялық микроорганизмдер шығарады. Бұл микроорганизмдер атмосфераға жоғары қарай жылжып, микроорта түзеді, катион-анион микробөлшектеріне ұқсас, микроэнергия, микро оң " + "энергия микроминусты тартады" -, магнит сияқты, жауын-шашын арқылы микробөлшек жасайды, су буының конденсациясы жүреді тамшылар, ағаштардың булануы бұлт буларымен қосылып, жаңбырдың пайда болуына ықпал етеді. Ағаштар ұшпа органикалық қосылыстар (ҰОҚ) деп аталатын химиялық қосылыстар шығарады, олар бұлт конденсациясының ядролары (БКЯ) ретінде әрекет ететін аэрозоль бөлшектерін түзе алады. Бұл гигроскопиялық бөлшектер су буын тартып, оның конденсациялануына мүмкіндік береді және қалыңдатады бұлттылық қосылыстар катион-анион микробөлшектеріне ұқсас, жер бедерінде жауын-шашынға әкелетін тамшыларға айналады. Бұл процеске жапырақтарда немесе жапырақтарда өмір сүретін микроорганизмдер ықпал етеді. Ағаштар ҰОҚ шығарады: ағаштар атмосфераға көп мөлшерде ҰОҚ шығарады. Шығарылатын ҰОҚ түрі мен саны ағаш түрі, жыл мезгілі және қоршаған орта жағдайлары сияқты факторларға байланысты. БКЯ бөлшектерді құрайды: бұл озон қабаты сияқты басқа атмосфералық химиялық заттармен әрекеттесіп, жаңа аэрозоль бөлшектерін түзе алады. Жапырақтардағы микроорганизмдер: жапырақ бетіндегі микробтар да аэрозольдердің көзі болып табылады және бөлшектердің атмосфералық жүктемесіне ықпал етеді. Бөлшектер жарқырайды: пайда болған бөлшектер-бұл су молекулаларын өте тиімді тартатын, оларды гигроскопиялық ететін ұсақ микробөлшектер. Бұлттың

пайда болуы: бұл микробөлшектер бұлттар үшін "тұқым" ретінде қызмет етеді, су буы ұсақ тамшыларға конденсацияланатын атмосфераны қамтамасыз етеді. Жауын-шашын: бұл тамшылар өсіп, қаныққан кезде олар жаңбыр түрінде түседі [34]

### Қазақстандағы жауын-шашын режимдері

Қазақстанның аймақтарында жауын-шашын мөлшері айтарлықтай өзгереді. Алайда, жылдық жауын-шашынды пайдаланудың ең үлкен потенциалы Қазақстанның көптеген аймақтарындағы қардың еруімен байланысты, бұл жылдық жалпы көлемі 300–400 мм болады және шамамен 70–80% құрайды [35,36]. Бұл дегеніміз Қазақстан үшін су тасқынымен байланысты технологияларды кеңейту, қар тасқыны суын ертерек сақтау бағдарламаларын, MAR технологияларына қосылған жолақты жер ұйымдастыруы бар қойма тоғандарының инфрақұрылымын жетілдіргені жөн болар еді (11 сурет).



11 сурет. Қазақстандағы жауын-шашын мөлшері өте құбылмалы, жылдық жалпы жауын-шашын мөлшері шамамен 350 мм. Жылдық ағынның 75%-ға жуығы еріген тасқын суларынан келеді, олар қар тасқынынан су жинаудың ұтымды жүйесін әзірлеуге бағытталған, ауыл шаруашылығы алқаптарына арналған су қоймалары ШЖҚ қосылған, су тасқынының жинақтау инфрақұрылымын жақсарту шаралары бар [35, 36].



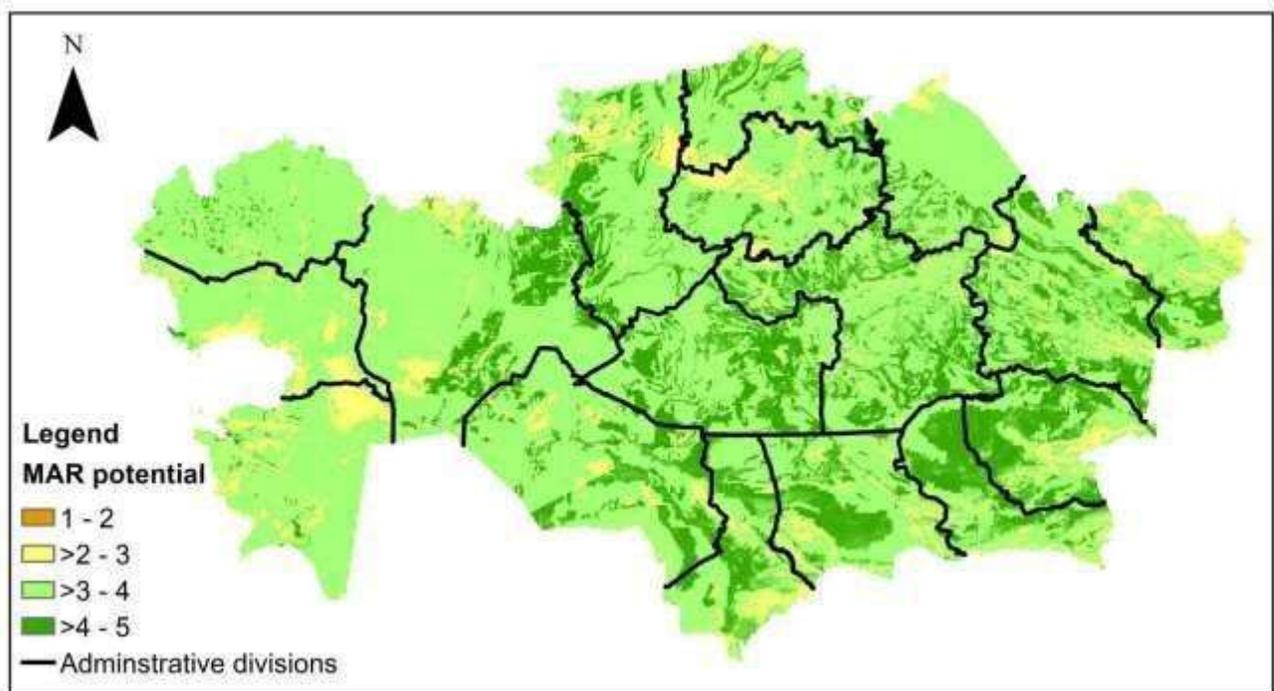
Қазақстанның гидрологиялық жүйесіндегі су ысыраптарының негізгі себептері жинақталған және осы диаграммада және жақсартудың бағыттары бар кестеде ұсынылған [37, 38].

Көрініс	Кіріс көзі	Қолдану жолдары	Күй/Қоңырау
I. Дереккөз	Қар/ жаңбыр/ қызыл су	Жауын-шашынды енгізу	Айнымалылығы жоғары, жиынтық мөлшері аз, ағынның шыңы көктемде, қардың еруі нашар жиналады
II. Жнақтау /Қамту	Жер беті ағыны	1. Өзендер/су қоймаларда сақтау	Тиімсіз тасымалдауға байланысты жоғары шығындар (сүзу/булану), топырақтың нашар сақталуы
	Топырақ инфильтрациясы	2. Топырақтың ылғалдылығы (богара жерлер)	Жер үсті ағыны мен жоғары буланудан жоғары шығын, сапасы төмен топырақтың конденсациялануы
	Терең инфильтрация	3. Жер асты суын толықтыру	Баяу, көбінесе топырақтың жоғары тығыздалуы және топырақты жеу стратегияларының болмауымен шектелген
III. Тарату	Сақталған су	Ауыл шаруашылығы өнімдеріне сұраныс (63% үлес)	Суды пайдаланудың төмен тиімділігі (WUE); Су тасқыны арнасын суарудың ескірген тәсіліне сүйену.
	Алынған су	Ауылдық жерлердегі сұраныс пен ұсыныс	Инфрақұрылымнан судың ағып кетуі және нашар жөндеу; тозу, маусымдық сенімсіздік
IV. Шығу	Суды пайдалану	Егістік өнімділігі/суға қол жеткізу	Жылдық ылғалдылыққа жоғары тәуелділік; өнімділіктің тұрақсыздығы; суды тиімсіз пайдалану.

## Қазақстанда MAR жүзеге асыру үшін ГАЖ-ды дамытуға үлес қосу

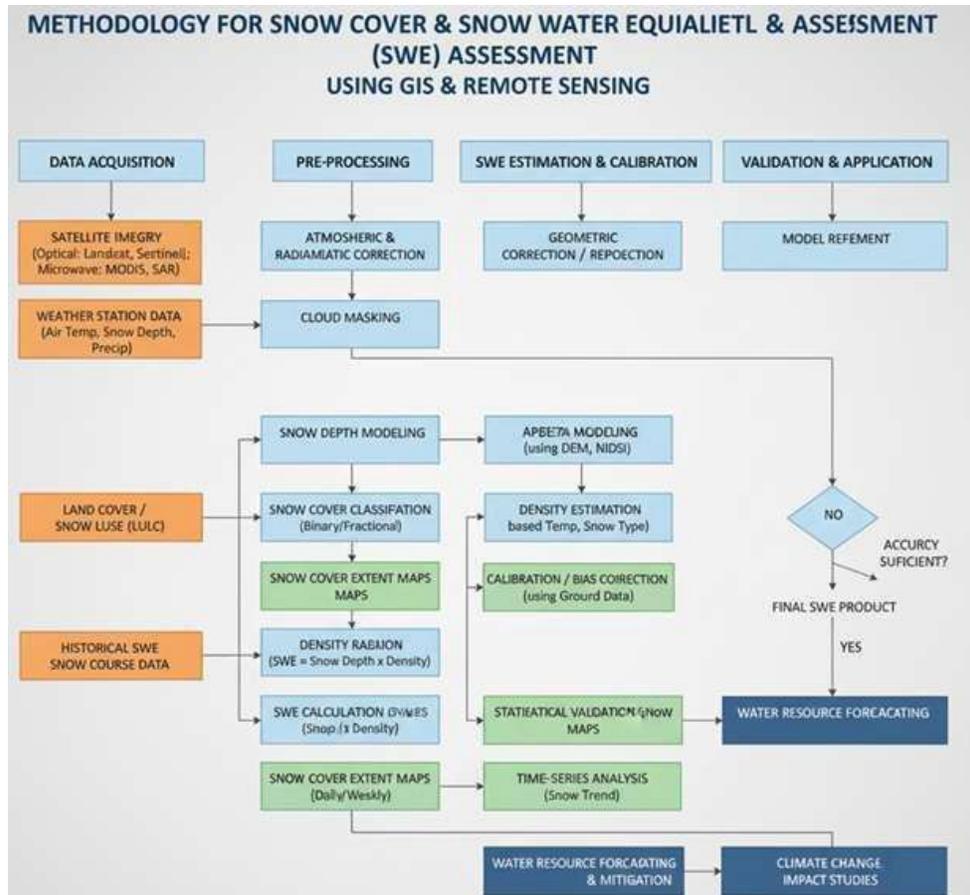
Қазақстан өңірлеріндегі ландшафттың әртектілігі, топырақ қасиеттерінің айырмашылықтары мен гидрологиялық режимдердің өзгешеліктері, көптеген елдерде су экожүйелерін қалпына келтірудің тиімді әдісі ретінде қарастырылатын, MAR жүйелерін орналастыруға қолайлы орындарды таңдау мақсатында диагностика, мониторинг және зерттеу жұмыстарын жүргізуді қажет етеді [19–20]. Қазіргі заманғы геоақпараттық жүйелер (ГАЖ), Жерді қашықтан зондтау (ЖҚЗ) және картография технологиялары MAR бағдарламаларын дамыту мақсатында тиімді. ГАЖ-ЖҚЗ топография, топырақ, геология, гидрологиялық режим мен климаттық параметрлер сияқты бастапқы деректерді қамтитын көпфакторлы модельдік талдау жүргізу үшін қолданылады [21]. Мұндай тәсіл табиғи және әлеуметтік-экономикалық жүйелер арасындағы тұрақты байланыс үлгілерін айқындауға мүмкіндік береді. MAR әдістемесімен орманды контурлық-жолақтық жерлерді ұйымдастыруды біріктіру жерді тұрақты пайдалану стратегияларын дамыту мүмкіндіктерін береді. Бір жағынан, жер бедері контурлары бойымен отырғызылған ағаштар мен бұталардың орманды қорғау жолағы MAR жер асты суларын толтыру мүмкіндігін арттыра отырып, инфильтрацияның тиімділігін жоғарылатып, эрозияны төмендетеді. Басқа жағынан, ГАЖ және ЖҚЗ деректерін пайдалана отырып, жүргізілетін жүйелі талдау су балансы тұрғысынан да, экожүйелердің деграляциясының алдын алу тұрғысынан да жобалауға тиімдірек қолайлы аймақтар мен өңірлерді дәлірек айқындауға мүмкіндік береді. Мұндай пәнаралық тәсіл, ландшафттарды тұрақты қалпына келтіру стратегияларын әзірлеу үшін экология, гидрология және геоақпараттық технология жетістіктерін біріктіре отырып, қазіргі заманның сұраныстарына жауап бере алады. ГАЖ, ЖҚЗ деректері жер асты суларын толтыру мүмкіндігі жоғары аумақтарды айқындау мақсатында аналитикалық иерархия процесі (АИП) әдісі арқылы талданады. Осы АИП әдісі арқылы MAR аумақтарын ұйымдастырудың, сондай-ақ инфильтрация мен жер асты суларының жиналу тиімділігіне әсер ету дәрежесіне қарай әртүрлі геокеңістіктік факторлардың ықпалы мен маңыздылығы бағаланады. MAR локалды аумақтары үшін орман қорғау жолақтарын интеграциялау жер бедері, топырақ және гидрогеологияны талдаумен жер пайдалануды ұштастыру тұрақты даму мүддесінде жер пайдалану стратегияларын нақтылауға ықпал етеді. Бұл стратегия әлемнің көптеген елдерінде сәтті қолданылып келеді, бірақ Қазақстанда дамыту шараларын жүргізуді қажет етеді. Ресейдің қара топырақты аймағында орманды қорғау жолақтарын қалпына келтіру контурлық-жолақтық жер ұйымдастыруымен ұштастыру арқылы жел және су эрозиясын айтарлықтай төмендетуге, су балансын жақсартуға, және дәнді дақылдардың өнімділігін 15–25%-ға арттыруға мүмкіндік берді. Топырақты рекультивациялау мен еңіс беттерді террасалау шараларын қамтитын кешенді тәсіл ерекше жоғары тиімділігін көрсетті [39–41]. Канада шалғын жазықтарында MAR технологиялары қорғау жолақтары мен жайылымдық жүйелерді біріктіре отырып, белсенді түрде қолданылады. Мұндай шаралар топырақтың ылғал ұстап тұру қабілетін жақсартуға, маусымдық ылғал тапшылығын азайтуға және әсіресе жауын-шашын режимі тұрақсыз жағдайларда ауыл шаруашылығы жерлерінің өнімділігін арттыруға мүмкіндік берді [42–44]. Қытайдың солтүстік-батыс аймақтарында қорғау жолақтарын, террасалы еңістерді және MAR жүйелерін интеграциялау топырақтың тұздануын төмендетуге және ауыл шаруашылығы жерлерінің өнімділігін қалпына келтіруге алып келді. Агроландшафтық шаралар мен MAR технологияларын біріктіру су ресурстарын басқаруда және ауыл шаруашылығын жиі қайталанатын құрғақшылық жағдайларына бейімдеуде жоғары тиімділігін дәлелдеді [45–47].

Контурлық-жолақтық жер ұйымдастыруды MAR технологияларымен кешенді қолдану және орман-қорғау алқаптарын жүзеге асыру арқылы көктемгі тасқындар мен жазғы құрғақшылық кезеңдері алмасып отыратын жағдайда климаттың өзгеруіне тиімді бейімделуімен қатар, тұрақты дамуға бағытталған жер пайдалану стратегияларын жақсартуға ықпал етеді [45–47]. ГАЖ ЖҚЗ деректері АИП әдістерімен ұштастырыла отырып, Қазақстандағы басқарылатын жер асты су қабаттарын толықтыру MAR потенциалын карталау арқылы зерттеу жұмыстарына қолданыла бастады[48]. MAR потенциалы су ресурстарының тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселелерін шешуге мүмкіндік бергенімен, бұл стратегия Қазақстанда әлі де жеткіліксіз пайдаланылуда. Герман-Қазақ зерттеушілер тобымен жүргізілген зерттеуінде АИП шешімдері көпкритерийлі талдау құрылымы, бес түрлі физикалық критерийлері ГАЖ шеңберінде интеграцияланып, визуализацияланды [48]. MAR потенциалды картасына су көздерінің потенциалды орындарын және оларды пайдалану модельдерін анықтайтын ЖҚЗ қабаттарын қосты. Бұл қабаттарды қосу MAR жобасын іске асыруды одан әрі бағалауға потенциалы бар басым аумақтарды айқындауға мүмкіндік берді. (12-сурет).

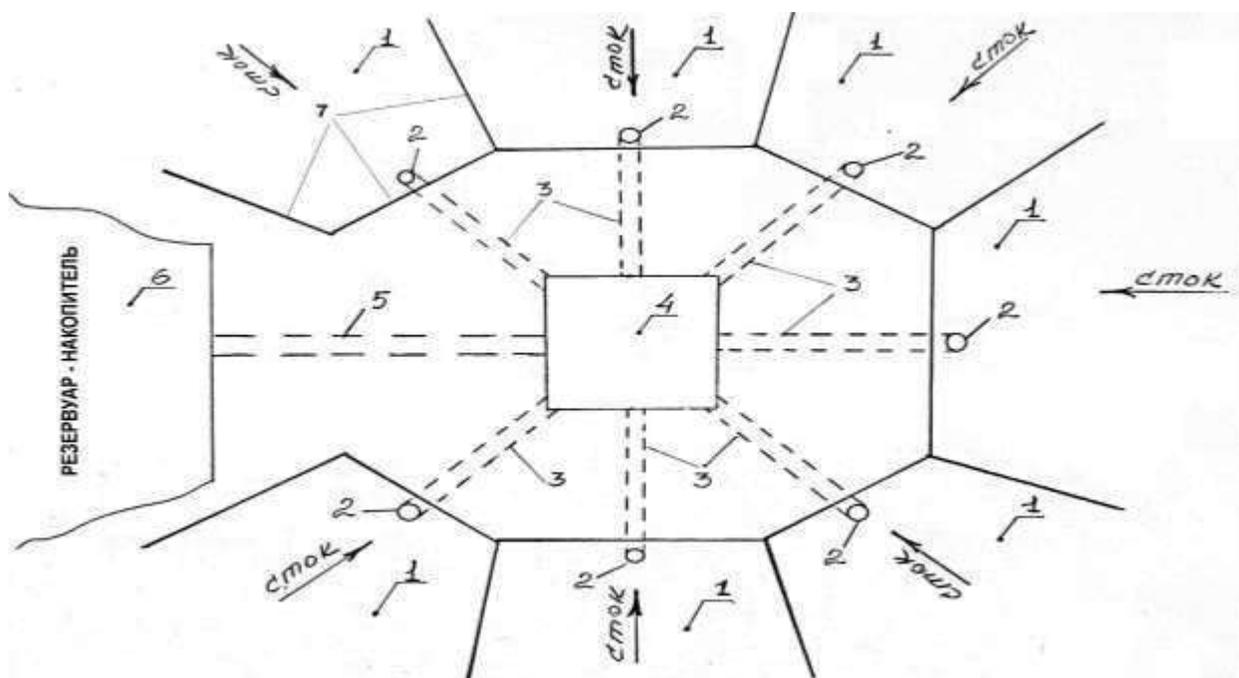
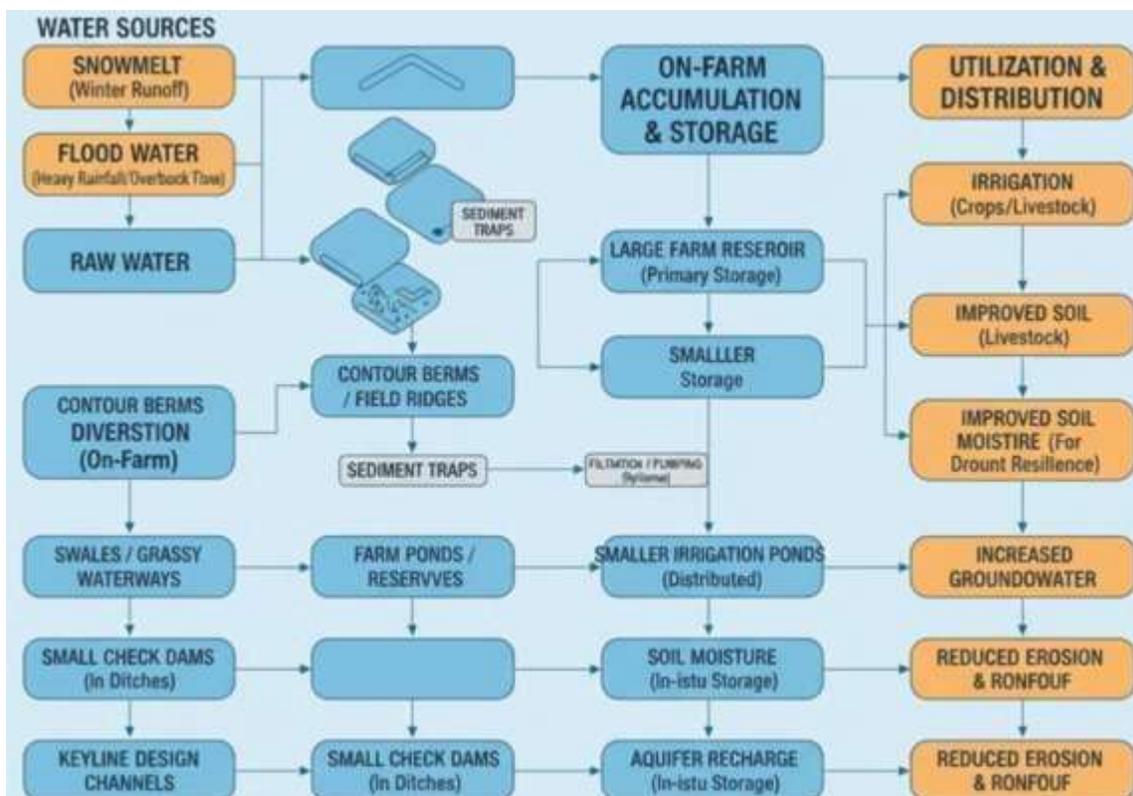


12 сурет. INOWAS платформасында АИП жұптық салыстыру әдісі критерийлері бойынша 1 ден 5 ке дейінгі индексті өлшеуді қолдана отырып, Қазақстан үшін MAR-ды дамыту мүмкіндіктері, <https://www.inowas.com/>

Қазақ аграрлық университетінің бір топ зерттеушілері [49] қар мөлшерін есептеуге, қарлы су эквивалентін (ҚСЭ) бағалау әдісі бойынша тасқын суды айқындауға және Солтүстік Қазақстан облысы үшін MAR орнын анықтауда ГАЖ-ЖҚЗ негізінде әдістемесін дайындап, қолданды (13, 14-сурет).



13 сурет. Қар мөлшерін есептеуге, қарлы су эквивалентін (SWE) бағалау бойынша тасқын суды бағалауға және Солтүстік Қазақстан облысы үшін MAR орнын анықтауда RS-GIS негізінде құрылған әдістеме [49].



14 сурет. Еріген қардан пайда болған тасқын суларды жинақтау мен оны қорға айналдыру технологиялық сызбасы: 1 – су өткізбейтін материал (мысалы, геомембран); 2 – су құдықтары; 3 – жер асты құбырлары; 4 – су алатын құдық; 5 – жер асты арнасы; 6 – сақтау ыдысы; 7 – қар ұстайтын қалқандар [49]

## Табиғатқа бағытталған бағдарлама бойынша халықаралық ынтымақтастықты дамыту.

Көптеген елдер экожүйені жақсарту, су ресурстарының тұрақтылығын күшейту мақсатында топырақтың суды сорғыш секілді өзінде ұстап тұру қабілетін арттыру үшін табиғи шешімдерді бейімдеуге ерекше көңіл бөлуде. Мұндай шешімдер қатарына рельеф контурлары бойымен орман және бұта өсімдіктерін орналастыруды көздейтін жер учаскелерін контурлық-жолақтық ұйымдастырудың дәстүрлі тәжірибелері жатады. Бұл тәжірибе жер бедері жоталарының контурлары бойымен өсімдіктер жамылғысын қалыптастыру арқылы топырақ эрозиясын азайтады. Мұндай өсімдіктер қабаты жер беті ағысына тосқауыл ретінде әрекет етіп, су ағынының жылдамдығын төмендетеді, топырақ эрозиясын азайтады және судың жер асты су қабаттарына сіңуін арттырады. Контурлық егіншілік топырақ эрозиясын азайту мен су айдындарының лайлануын болдырмаудың тиімді стратегиясы ретінде әлемнің көптеген елдерінде кеңінен таралған. Мұндай технологияларды ілгерілетудің негізгі міндеттерінің біріне ағын сулардағы қалқып жүрген қатты бөлшектер мен тұнбалардың мөлшерін азайту болып табылады. Бұл шаралар гидрологиялық режимді тұрақтандырып, топырақ сапасының қалпына келуіне ықпал етеді[50-54].

Табиғатқа бағытталған бағдарлама бойынша халықаралық ынтымақтастықты зерделеуде Қазақстан үшін Моңғолия жерінің тұрақтылығын арттыру аясында бағдарламаларды ілгерілетіп жүрген Корея–Моңғолия зерттеу тобымен ынтымақтастықты кеңейту орынды болып табылады. Қазақстан 3,5 миллион ағаш отырғызуды көздеп отыр [55], ал Моңғолия 300 есе ауқымды жобаны ілгерілетуде, яғни 1 миллиард ағаш отырғызуды мақсат еткен[56]. Моңғолия басқа елдердің тәжірибесін, соның ішінде жасыл белдеуді қалпына келтіру, Моңғолия жағдайына бейімделген, әртүрлі климат, басқа топырақ түрлеріне сәйкес келетін өсіру учаскелерінің таралған желісін құруды, сондай-ақ жергілікті өсімдік түрлерін корейлік ағаштардың будандарымен селекциялау жұмыстарын қамту бойынша Корея–Моңғолия жобасын ілгерілету аясында Оңтүстік Кореяның тәжірибесін белсенді зерттеуде. Оңтүстік Корея бұл бағдарламаны 10 миллион АҚШ доллары көлемінде қаржыландырып, ағаш өсіруге арналған учаскелер желісін құруды және Моңғолияның жергілікті тұрғындарын оқытуды қамтамасыз етуде [57]. Оңтүстік Корея жер асты су қоры мол Моңғолияның жер асты суларын пайдаланады, бірақ жер асты суларының сілтілігі жоғары рН 8,6-ға дейін жетеді. Судың сілтілігін рН 8,6-дан өсімдіктерге қолайлы рН 6,5 деңгейіне дейін төмендету технологиялары иондық натрий–катион алмасу химиялық реакциялары негізінде жүзеге асырылады (судағы қаттылықты тудыратын кальций мен магний сияқты иондар жойылады). Моңғолия үкіметі «1 миллиард ағаш» бағдарламасын іске асыруға ЖІӨ-нің 1%-ын инвестициялап [58], тау-кен компанияларының қаржы салуына және моңғол фермерлерін ағаш өсіру бағдарламалары аясында қолдауына ынталандыру шараларын енгізді. Бұл Моңғолияның «1 миллиард ағаш» бағдарламасы [56] су ресурстары жөніндегі Моңғолия бағдарламасымен біріктіріліп, бірлесіп жүзеге асырылуда. Моңғолия аумағы бойынша 333 су жинау тоғанын салу жобасы [59] «1 миллиард ағаш отырғызуды» бағдарламасын [56] іске асырумен қатар дайындалып жатыр. Брнодағы Чехиядағы Мендель университеті Канададағы Манитоба университетінің серіктестерімен, Моңғолияның Ғылым және технология университетімен, сондай-ақ Неміс–Моңғолия ресурстар және технологиялар институтымен бірлесіп, орман экожүйелерінің қалпын жоғалтуы, шөлейттену және қоршаған ортаның ластануы мәселелері бойынша да жұмыс жүргізуде. Негізгі мақсат – Моңғолияға орман шаруашылығында, шөлейттенудің салдарын азайтуда және табиғатқа бағытталған бағдарламалар арқылы Моңғолияның тұрақтылығын

арттыруда көмек көрсету [59]. Моңғолияның «1 миллиард ағаш» бағдарламасы өте күрделі. Ағаштарға су қажет, сондықтан Моңғолия Оңтүстік Кореямен су жабдықтау жүйесін дайындау бойынша жұмыс жүргізуде [57], бұл Моңғолия аумағы бойынша 333 жинау тоғандары бағдарламасымен [58] үйлестірілген. Бұл жобалық бағдарламалар күрделі болғандықтан, үлкен қаржылық күш-жігерді де, Моңғолияның жергілікті тұрғындарының қатысуын да талап етеді. Моңғолия Оңтүстік Корея мен Чехия тәжірибесін зерттеумен қатар, табиғатқа бағытталған бағдарламаларды дамыту, жерді контурлы-жолақтық ұйымдастыру және халықты табиғатты сақтау мен қалпына келтіру процесіне тарту саласында мол тәжірибесі бар Бутан тәжірибесін де зерттеуде. Ағаш отырғызу бағдарламасы климаттың өзгеруіне бейімделу, ластану мен биоалуантүрліліктің жоғалуын азайту арқылы ормандарды тұрақты басқарудың Бутанның негізгі табиғатты қорғау бастамасы болып табылады. 1947 жылдан бастап Бутан Корольдігінің үкіметі қоршаған ортаны қорғауға, соның ішінде ормандарды қалпына келтіруге бағытталған әртүрлі шараларды жүргізуге басымдық береді. 2024 жылғы 30 маусымдағы жағдай бойынша Бутанда шамамен 20 161 гектар орман плантациялары құрылған, бұл Бутан аумағының 69,71%-ын орман қаптамасымен қамтамасыз етеді, конституциялық шегі 60%-дан асады және Бутанға көмірқышқыл газы жоқ аймаққа жататын мәртебесіне жетуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Бутанның бірнеше аймақтарында және орман департаменттерінде ағаш отырғызу бағдарламаларын іріктеп бағалау нәтижесі бойынша, ағаштардың орташа тіршілік ету деңгейі тек 56%-ды құрайтыны анықталды. Төмен тіршілік деңгейі ағаш отырғызылғаннан кейінгі күтімнің, қызмет көрсетудің және бақылаудың болмауымен түсіндіріледі. Бутанда орталық немесе жергілікті билік органдары ұсынатын кез келген ағаш отырғызу ұсыныстары оларға күтім жасау және оларды қолдауды қамтитын кешенді бесжылдық жоспарды қамтуы тиіс [60]. Бутанда ағаштарды тек отырғызуға көзделген бесжылдық негізделген күтім жоспарынсыз қаржыландырудан бас тартылады. Моңғолия Канада тәжірибесін зерттеп, жергілікті халықты бала кезінен бастап ағашқа құрметпен қарауға, ағаш өсіруді сүйіспеншілікпен жүргізу бағдарламаларына тарту тәсілін үйренуде, мысалы, British Petroleum (BP) BirthPlace Forests бағдарламасы [61], мұнда балалар туғаннан бастап ағаштарға жауапкершілікпен қарап, ағаштардың тіршілігін бауырларына көрсеткен қамқорлық сияқты күтеді (15-сурет).

## Canada BP Birthplace Forest



15 сурет. Моңғолияға бейімделген Канада мен Бутан бағдарламалары халықты табиғатты бала кезінен бастап күтуге шақыруы, әсіресе ағаштардың алғашқы 5 жылдық тіршілік кезеңімен ұқсас. Егер ағаш 5 жылдың ішінде өсе алса, болашақта өз тамыр жүйесін пайдаланып, өседі. Ол баланы

18 жасқа, яғни кәмелетке дейін тәрбиелеуге ұқсас. ВР Birthplace Forests бағдарламасы Канадада әрбір жаңа туған сәбилер атына ата-аналары саябақтарда ағаш отырғызу мақсатында ВР Canada-мен іске қосылды [61].

Австралияда ауыл шаруашылығын қолдау жүйесі жақсы дамыған, оған шалғай ауылдық аудандарда, оның ішінде аборигендер сияқты жергілікті халыққа жекелендірілген қызмет көрсету жүйесі кірген, сондай-ақ қорғалатын су-батпақ жерлер жүйесіне реттеп отыратын бақылау енгізілген. Австралияның қазіргі саясаты 1990 жылдары басталды. 2000 жылдан бастап бір дақылға жұмсалатын судың тұтынуы тез төмендеді [62,63]. Он жыл ішінде су пайдалану көрсеткіші 2,5 есеге төмендеген. Оған қоса, Австралияда ауыл шаруашылығы өнімін өндіру көлемі елеулі өзгеріске ұшырамады. Қазақстанда осы секілді суды эффективті пайдалану бағдарламасы жоқ; Қазақстандағы ауыл шаруашылығы өнімділігі судың тұтыну көлемімен тікелей байланысты. Қазақстандағы ауыл шаруашылығы ресурстардың сарқылуына, батпақтардың кеуіп кетуіне және жерлердің шөлейттенуіне әкеліп соқтыруда. Қазақстанда жер беті және жер асты суларының желі объектілерінің ақпараттық жүйесі Австралиямен салыстырғанда әлсіз дамыған. Жер беті мен жер асты су ресурстары объектілері жүйесі өзара байланыста, сонымен қатар барлық деректер айқын және Австралияның барлық тұрғындары үшін қолжетімді. Австралияда жергілікті тұрғындардың суды тиімді пайдалануына көбірек ынталандыру шаралары қарастырылған. Онда су тасқыны, қатты жауын-шашын кезеңінде су жинауға және MAR жерасты басқарылатын сулы горизонттарын толтыру технологияларын әзірлеуге айтарлықтай ынталандыру бар. Бұл стратегия су қоймаларын аз шығынмен сақтау және құрғақшылық кезінде суды пайдалану арқылы су тасқындары сияқты табиғи апаттардың салдарын азайтуға мүмкіндік береді. Қазақстанда су ресурстары энергетикалық ресурстар мен өнеркәсіп қызметімен салыстырғанда аз бағаланады. Қазақстанда су ресурстарына жеке меншік құқығы іс жүзінде жоқ немесе әлсіз реттелген, сондай-ақ техникалық су мен құнды ішетін судың бөлінуі дұрыс ұйымдастырылмаған. Австралияда су – актив әрі табыс көзі. Австралияда әрбір азаматқа белгілі бір мөлшерде су ресурсына иелік ету құқығы берілген. Қарапайым өзен бассейні су жинау алаңы маңында тұратын әрбір адамның жеке меншігі болып табылады. Әрбір тұрғынға белгілі бір мөлшерде суды пайдалануда құқық берілген. Инженерлік компаниялар үшін су тасқындары кезінде су ресурстарын сақтау, суды қорғау және жинақталған суды сұранысы бар аймақтарға кейін нарыққа ұсыну мақсатында су шаруашылығы құрылыстарын салу тиімді болып келеді [62,63]. Қазақстанда бассейндік ынталандыру жүйесі жоқ және жергілікті халықты жалпы бассейндік тұрақтылығын дамытуға тарту, сондай-ақ қарапайым адамдардың белгілі бір бассейндегі су ресурстарына байланысты меншік құқығы мәселелері қалыптаспаған. Әрбір фермер Қазақстанның ортақ бассейнінен су ресурсын қалпына келтіру немесе сақтауға ынталанбайды, керісінше барынша пайдалану үшін әрекет етеді. Қазақстанда су ресурс ретінде бағаланбайды. Қарапайым қазақстандықтарға суды үнемдеуге және оны тиімді пайдаланып, қаржылық пайда алуға ынталандыру шаралары аз қарастырылған. Қарапайым адамдарға суды үнемдеу арқылы табыс табу мүмкіндігін жасау Қазақстандағы су ресурстарын тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Қазақстанның мемлекеттік бюджетінде төтенше жағдайларда, оның ішінде су тасқындары мен құрғақшылық кезінде елеулі шығындар қарастырылған. ТЖ кезінде суды сақтандыру жүйесін жетілдіру Қазақстандағы су ресурстарының тұрақтылығын жақсартуға ықпал ете алады [64].

Канада–АҚШ Шекаралас бассейн комитеті [65] су жобалары бағдарламаларын, оның ішінде үш АҚШ штаты — Миннесота, Солтүстік және Оңтүстік Дакота және Канада Манитобада

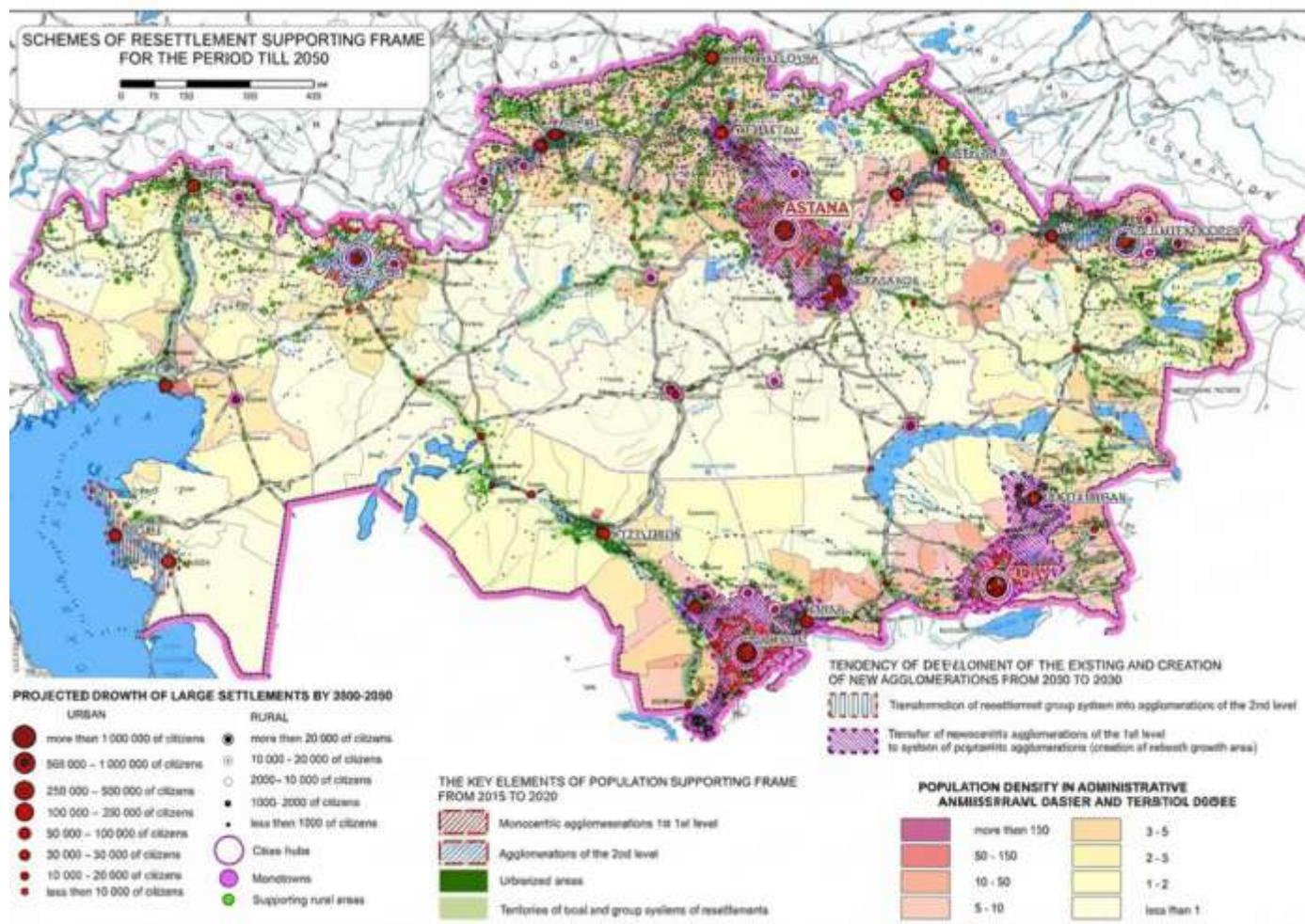
тұратын тұрғындар, фермерлер және жергілікті халық өкілдерімен су ресурстарын қаржылай және тиімді пайдалану жолдарын басқарады. Тұрғындар, фермерлер және жергілікті халық өкілдері су ресурстарын тиімді пайдалану бойынша бірлескен жобалық бағдарламаларды шешуге белсенді қатысады. Табиғат мүдделері, флора және фауна қорғалуын көздейтін азаматтық қоғам ұйымдары су ресурстарын басқаруға белсенді қатысады. Жергілікті су ресурстары мамандардың қаржылай және техникалық жағынан өз су ресурстарын басқарудағы мықты потенциалы серіктес колледждердің Техникалық мамандары техникалық және кәсіби білім беру мен оқыту (ТЖКБ) қызметтерін тұрақты негізде көрсетіп отырады. Канада–АҚШ өзен бассейніндегі су мәселелеріне қатысты тұрақты және пайдаланушыға ыңғайлы аралас білім беру өмір бойы барлығына ұсынылады. Ауылдық кітапханалар бассейндік су бағдарламалары бойынша тұрақты кездесулер, семинарлар өткізу және тұрғындарға ақпараттық қолдау көрсету үшін белсенді түрде пайдаланылады [65]. Канада–АҚШ бассейндік комитеті барлық дерекқорларды ашық етіп, барлығына қолжетімді қылған. Әрбір жоба мен жобаны жүзеге асыратын топ туралы ақпарат ашық веб-сайтта орналастырылған. Мысалы, бассейн мыңындағы тұрғындар мен фермерлер LIDAR қолдануды дамытуға шешкен, ол топографиялық карталар жасауға, фермерлерге арналған жер учаскелерін жоспарлауға, су тасқындары мен құрғақшылықты модельдеуге мүмкіндік беретін лазер сәулелері импульстерін пайдаланып, қашықтықтан зондтау технологиясы, жоғары ажыратымдылығы 50 см цифрлық рельеф модельдерін (ЦРМ) даярлау үшін қолданылады. Бұл үшін 5 миллион доллар жұмсалды, оның 3 миллионы жергілікті фермерлерден, 2 миллионы облыстық мемлекеттік әкімдіктерден алынған. LIDAR деректері ашық және оны жүктеп алғысы келетін барлық адамдарға қолжетімді. Оның қолдануға арналған қолжетімді оқыту бағдарламалары климаттың өзгеруін болжау және оған бейімделу модельдеу бағдарламаларымен бірге барлығына ашық [65]. Дренажды және тасқын суларды жинауды тиімді пайдалану үшін бассейн комитеті Канада мен АҚШ фермерлерімен кеңесіп, су тасқынына дайындық үшін жер асты сулы қабаттарын толтыруға Flood-MAR сақтау тоғандарын құру оңтайлы болатын аймақты анықтайтын қарқынды модельдеуді қолданады [66].

INBO халықаралық бассейндік ұйымдар желісі <https://www.inbo-news.org/> егер Қазақстан Республикасы Су шаруашылығы және ирригация министрлігі оған қосылып, белсенді мүше болса, Қазақстан үшін өте пайдалы болар еді. Қазақстанға Қытаймен бассейндік мәселелерді тікелей шешу қиын, бірақ INBO бассейндік ұйымдарының желісіне қатысумен <https://www.inbo-news.org/>. Қазақстан осындай жол арқылы тиімдірек, қаржылық шығындары аз және өркениетті түрде байланысып, келіссөздер жүргізе алады. Қазақстан Президенті Қ-Ж. К. Тоқаев Орталық Азия мен Ауғанстан үшін орнықты даму мақсаттары бойынша БҰҰ Өңірлік орталығын кеңейтуде. <https://www.akorda.kz/ru/prezident-kasym-zhomart-tokaev-i-generalnyy-sekretar-antoniuguterrish-posetili-regionalnyy-centr-oon-v-almaty-373245>. Бұл бастама Қазақстан ауылдарында жергілікті қауымдастықтардың Қазақстан үшін тұрақты бағдарламаларды ілгерілетуде белсенді қатысуына елеулі мүмкіндіктер береді. Қазақстан су ресурстарын және бассейндерді басқару саласындағы мамандар тапшылығына тап болып отыр. Су ресурстарына қатысты қиындықтарға қарамастан, өнеркәсіп пен Қазақстанның барлық тұрғындары жергілікті бассейндік мәселелерді, су тасқындары мен құрғақшылыққа байланысты мәселелерді шешу үшін Қазақстан Республикасының Президенті Тоқаевқа және Су шаруашылығы және ирригация министрлігіне жүгінеді. Сонымен бірге, Халықаралық бассейндік ұйымдар желісіне (<https://www.inbo-news.org/>) қатысу арқылы Қазақстан жергілікті халықты бассейн деңгейіндегі мәселелерді шешуге тарту, халықаралық тәжірибені зерттеу және климат өзгерісіне бейімделу мен экожүйелерді қалпына

келтіру үшін табиғи шешімдерді ілгерілету арқылы бюджеттік шығыстарды оңтайландыра алады. Ауылдардағы жергілікті тәжірибе мен қазақстандық колледждердің оқытуы, оның ішінде жергілікті деңгейде бассейндік басқаруды ілгерілету, жергілікті деңгейде су тасқындары мен құрғақшылық мәселелерін шешу үшін бюджеттік қаражатты тиімді пайдалану қабілетін дамыту бойынша Президент Тоқаевтың бастамасымен БҰҰ бағдарламаларын қолдау үшін нашар дамытылған. Стратегиялық маңызды мемлекеттік тапсырмаларды орындау мәселелері бойынша Президент Қасым-Жомарт Тоқаев өз үндеуінде Қазақстандағы жұмыс берушілердің 70%-ы колледж түлектерінің біліктілігіне қанағаттанбайтынын атап өткен. Осы қиындықтарды ескере отырып, Президент Тоқаев 2025 жылды кәсіби дамыту бағдарламаларын нығайту мақсатында Еңбек мамандықтары жылы деп жариялады. Жергілікті халықты бассейндік басқару бағдарламаларына тарту үшін Қазақстан Республикасының Су шаруашылығы және ирригация министрлігі климаттың өзгеруіне бейімделу және бассейн деңгейінде экожүйелерді қалпына келтіру бойынша табиғи шешімдерді ілгерілету мақсатында Халықаралық бассейндік ұйымдар желісіне INBO (<https://www.inbo-news.org/>) қосылуы, сондай-ақ Қазақстандағы БҰҰ тұрақты бағдарламаларын ілгерілету жөніндегі Президент Тоқаев бастамаларын қолдауы тиімді болар еді. Мұндай бағдарламаларға Қазақстанның ауылдық колледждерін, мысалы, Жетісу ауданы Білім басқармасы қарасты Мемлекеттік бюджеттік «Көксу политехникалық колледжі» сияқты оқу орындарын тарту оңтайлы болып табылады. Халықаралық бассейндік ұйымдар желісі INBO техникалық және кәсіби білім беру мен оқытуды (ТЖКБ) алуан түрлерін қолдап отырады, соның ішінде инновациялық қаржыландырумен табиғатқа бағытталған бағдарламаларды да қамтиды <https://www.inbo-news.org/events/webinar-on-nature-based-solutions-and-innovative-finance/>, <https://zhetystv.kz/ru/koksuskij-politehnikeskij-kolledzh-prinimaet-opyt-zarubezhnyh-kolleg-dlya-podgotovki-spezialistov-po-vodnym-resursam-45855/> <https://youtu.be/2vi75468Ohg>

Венгрия Халықаралық бассейндік ұйымдар желісі INBO жұмысына ЕВРО-МСБО аймақтық желісі арқылы, сондай-ақ бассейн деңгейінде су ресурстарын кешенді басқаруға бағытталған іс-шаралар мен бастамаларға белсенді қатысады. <https://unece.org/media/news/385244>, <https://unece.org/water-global-workshop-2023-budapest>,

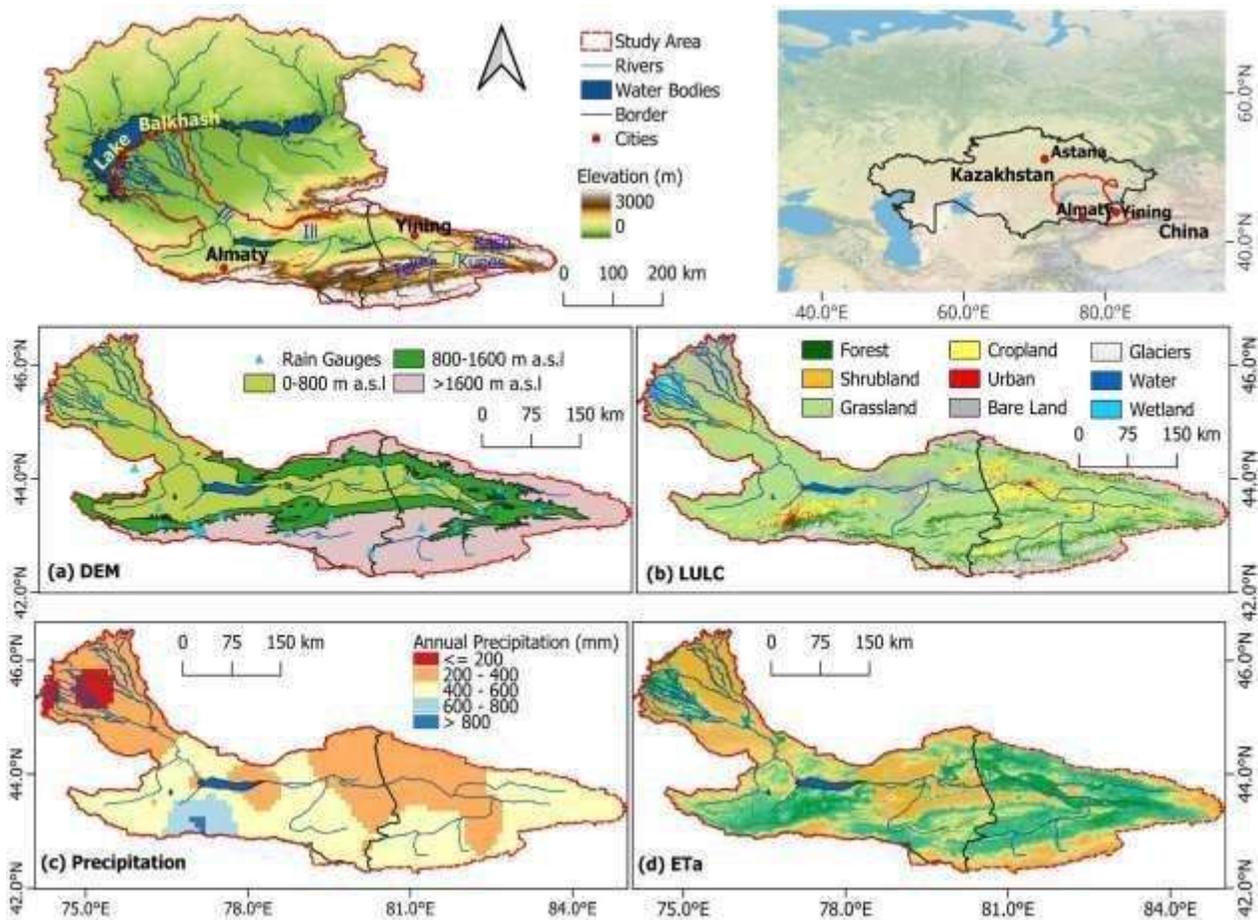
Қазақстан Алматы облысында Қапшағай су қоймасының жағалауында Алатау–Сингапур қаласын салу бағдарламасын жүзеге асыруда. Осы бағдарламаны жүзеге асырудағы қиындықтарға аймақтағы топырақ, жердің ашық алаң мен бостығында, өсімдіктер де нашар өсетіндіктен, бағдарламаны жүзеге асыру үшін өте көп су қажет. Су Қапшағай су қоймасынан, Балқаш көліне негізгі артерия болып табылатын Іле өзенінен алынады, ол Балқашқа келетін су көлемінің шамамен 70%-ын қамтамасыз етеді. Іле өзенінің жылдық ағысының негізгі бөлігі, яғни 70%-дан астамы Қытай аумағында қалыптасады, онда Қытай Іле өзенінің негізгі су көлемін алады. Қытайдың Іле өзенінен су алу әрекеттері мен Қазақстанның Алматы облысында Қапшағай су қоймасының жағалауында Алатау–Сингапур қаласын салу бағдарламасы Іле өзенінің кеуіп кету қаупін арттырып отыр, ал оның артынша Балқаш көлі кеуіп кетуі орын алады. Бұл бағдарлама Алматы аймағын қарқынды урбанизациялауға бағытталған, бір ғана шағын аймаққа шоғырланған, бұл Қазақстан үшін тұрақты стратегия емес (1 сурет). Ұқсас бастамашыл бағдарламаларда басқа елдер, соның ішінде Моңғолия, Бутан, Словакия, Чехия, Венгрия, Канада, мәселені шешуге тырысып, өз елдерінің барлық аумағын тиімді пайдалану мақсатында әрекет етуде.



16 сурет. 2050 жылға дейін Қазақстандағы урбанизацияның артуы болжамдары

Қытай мен Қазақстан арасындағы Іле өзені Балқаш бассейнінің тұрақтылығын зерттеу (17 сурет)  
Sustainability 2025 Environmental Science журналында жарияланды.

Duisebek, B.; Senay, G.B.; Ojima, D.S.; Zhang, T.; Sagin, J.; Wang, X. Evaluating the Performance of Multiple Precipitation Datasets over the Transboundary Ili River Basin Between China and Kazakhstan. Sustainability 2025, 17, 7418. <https://doi.org/10.3390/su17167418>



17 сурет. Қытай мен Қазақстан арасындағы Іле өзені Балқаш бассейнінің тұрақтылығын зерттеу, Sustainability 2025 журналы, 17, 7418

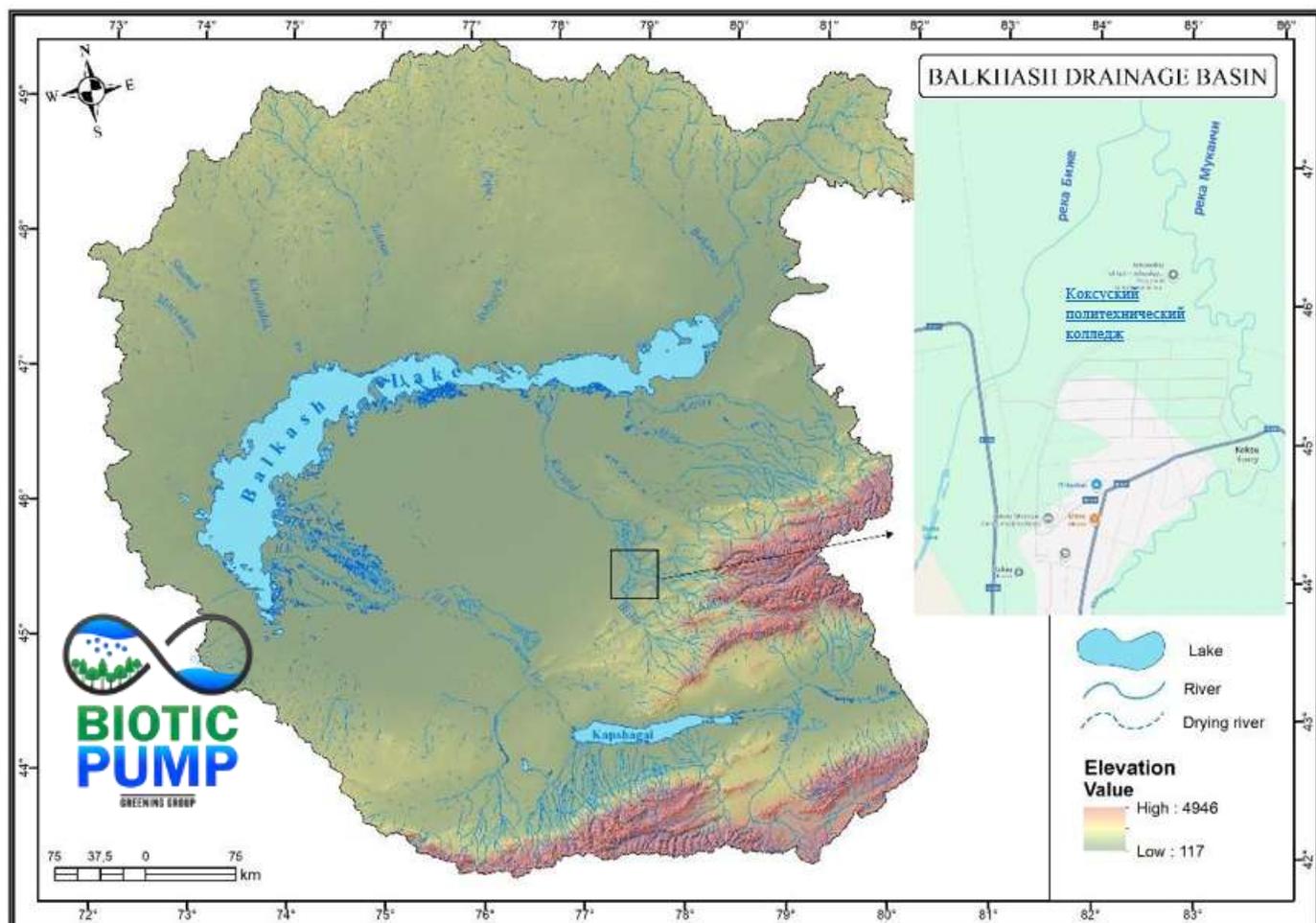
Қытайға әсер ету, Іле өзенінің жоғарғы ағысындағы Қытай су пайдалану бағдарламаларын өзгерту, сондай-ақ Қазақстанның 3,5 млн ағаш отырғызу және Алматы облысындағы Қапшағай су қоймасының жағалауында Алатау–Сингапур қаласын салу екі жобалық бағдарламасын өзгертуіне әсер ету өте қиын. Осы қиындықтарды ескере отырып, Іле өзенін есепке алмай Қазақстан аумағындағы Балқаш бассейнінің кіші өзендерінің деңгейін қалпына келтіру бағдарламасын енгізу ұсынылады (18 сурет). Бұл бағдарлама жерді контурлы-жолақтық ұйымдастыру әдістері мен биосфералық куполдар, Biotic Pump биосфералық насостарын қолдану арқылы жүзеге асырылып, Балқаш көлін жылдық су жабдықтау көлемінің кемінде 30%-ымен қамтамасыз етіп, көлдің белгілі бір бөлігінің тұрақтылығын болжауға мүмкіндік береді. Бұл стратегия Балқаш көлінің жағасында салынуы жоспарланған атом электр станциясын кепілдендірілген сумен жабдықтау үшін де маңызды. Атом электр станциясының тұрақтылығы үшін кем дегенде 100 жылға дейін 100% кепілдендірілген сумен қамтамасыз ету қажет.



18 сурет. Қазақстан аумағындағы Іле өзенін қоспағандағы Балқаш көлі бассейнінің ішкі кіші өзендері. Мұнда өзендердің гидрологиялық режимін табиғи процестер арқылы қалпына келтіру әдістерін — Севастьянова, Зверев, Лукин-Потапенко жерді ұйымдастыру тәсілдерін, Гороховтың биосфералық күмбездерін, Макарьева мен Горшковтың Biotic Pump биосфералық насостарын, сондай-ақ Моңғолия, Словакия, Бутан, Чехия, Венгрия және Канада тәжірибелерін қолдану ұсынылады.

Мектеп оқушыларын, колледж студенттерін су ресурстары мен су сапасын талдау мәселелері бойынша оқытуға арналған біліктілікті арттыру бағдарламалары — АҚШ пен Канададағы ұқсас бағдарламаларға қарағанда Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министрлігі тарапынан жеткілікті деңгейде пысықталмаған, әсіресе ауылдық жерлерде жергілікті халықтың су мәселелерін өз бетінше шешуге деген қызығушылығын арттыруға бағытталған осындай біліктілікті арттыру бағдарламаларын дамытуға ынталандыруды қажет ететін маңызды міндеттердің бірі. Осыған байланысты судың сапасы мен мөлшерінің элементтерін бағалау үшін жергілікті қауымдастық пен пайдаланушылардың ғалымдармен өзара бірге жұмыс істеп, бұрыннан тәжірибеде пайдаланылып келе жатқан, сенімді мысалдарды қарастыру қажет. АҚШ Небраска университетінің Су орталығы директоры, профессор Дэниел Сноудың жетекшілігімен жергілікті фермерлер мен мектеп оқушылары арасында жүзеге асырылған “Өз суыңды зертте” бағдарламасында сәтті қолданыла бастады. “Өз суыңды зертте” бағдарламасы” АҚШ Небраска штатындағы мектептің жоғары сынып оқушыларын құдықтардан, ұңғымалардан және су айдындарынан ауыз судың сапасын тексеру мен сынама алу әдістерін үйретуге арналған Небраска экологиялық қоры қаржыландыратын бастама болып табылады. Осындай бағдарлама Қазақстанда ҚКМК «Көксу политехникалық колледжі», КММ «Жетісу облысының білім басқармасы» дайындалып жатыр, бірлесіп жұмыс істеу бойынша қысқаша видеомен таныссаңыздар болады <https://www.youtube.com/watch?v=2vi75468Ohg&t=14s>. Балқаш бассейні бойынша өзендерді қалпына келтіру стратегиясын, соның ішінде топырақ қасиеттерін қалпына

келтіру шараларын жүргізу негізінен Қазақстанның өзіне байланысты. Ондай бағдарламаларды дамытуға жергілікті халықты қықықтыру басты мақсат болып табылады. Бұл бастама Көксу колледжі аумағындағы шағын ауылда, Балқаш бассейніндегі Қаратал өзенінің шағын салалары — Биже мен Мұқаншы өзендерінің сағасында жүзеге асырылуда. Осындай стратегия алдағы уақытта Балқаш бассейнінің басқа аймақтарында да ілгерілетілетін болады (19 сурет).



19 сурет. Көксу колледжінің шағын ауылы аумағында, Балқаш бассейніндегі Қаратал өзенінің шағын салалары болып табылатын Биже мен Мұқаншы өзендерінің сағасында “Flood-MAR-Kaz”, <https://flood-mar.kz/>, бағдарламаларының іске асырылуы.

Ұсынылып отырған Бағдарлама Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың Қазақстан халқына Жолдауында айтылған стратегиялық маңызды, біліктілікті арттыру бағдарламаларын күшейту мен Қазақстан Республикасы Оқу-ағарту министрлігінің жұмысын жетілдіру жөніндегі тапсырмаларды іске асыруға бағытталған мемлекеттік міндет. Қазақстан Президенті Тоқаев 2025 жылды жұмысшы мамандықтар жылы деп белгіледі. Бұл жер үсті-жер асты суларын тиімді пайдалану бойынша колледждерде жергілікті халықтың біліктілігін арттырудың маңызды міндеттерінің бірі, өз білімі мен техникалық сараптамасымен су тасқыны мен құрғақшылық жөнінде табиғат, флора мен фауна үшін жергілікті мәселелерді ең аз қиындықтармен шешу.

## Пайдаланылган әдебиет

1. Jakeman, A.J. et al. (2016). Integrated Groundwater Management: An Overview of Concepts and Challenges. In: Jakeman, A.J., Barreteau, O., Hunt, R.J., Rinaudo, J.D., Ross, A. (eds) Integrated Groundwater Management. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_1)
2. Casanova, J., Devau, N., Pettenati, M. (2016). Managed Aquifer Recharge: An Overview of Issues and Options. In: Jakeman, A.J., Barreteau, O., Hunt, R.J., Rinaudo, J.D., Ross, A. (eds) Integrated Groundwater Management. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23576-9_16)
3. AAFC (2010). Shelterbelt - Design guidelines for farmyards, fields, roadside, livestock, wildlife and riparian buffer plantings on the prairies. Indian Head, SK: Agroforestry Development Centre, Agriculture and AgriFood Canada (AAFC), [https://www1.agric.gov.ab.ca/\\$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/\\$FILE/Shelterbelts\\_Design\\_and\\_Guidelines.pdf](https://www1.agric.gov.ab.ca/$Department/deptdocs.nsf/all/epw10940/$FILE/Shelterbelts_Design_and_Guidelines.pdf)
4. Sagin, (2019). "Индейцы уважают природу и перемещение воды" <https://inbusiness.kz/ru/news/indejcy-uvazhayut-prirodu-i-peremeshenie-vody>
5. Ministry of Water Resources and Irrigation of the Republic of Kazakhstan (2025). <https://www.gov.kz/memleket/entities/water?lang=en>
6. United Nations Environment Program (UNEP) (2025). Integrated Water Resources Management (IWRM), <https://www.unep.org/topics/fresh-water/water-resources-management>
7. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) (2025). Kazakhstan <https://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/KAZ>
8. Gathagu, J.N.; Mourad, K.A.; Sang, J. (2018). Effectiveness of contour farming and filter strips on ecosystem services. *Water*, 10, 1312. <https://doi.org/10.3390/w10101312>
9. Sahu, M.; Gu, R.R. (2009). Modeling the effects of riparian buffer zone and contour strips on stream water quality. *Ecol. Eng.*, 35, 1167–1177. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.015>
10. Ellison, D.; Morris, C.E.; Locatelli, B.; Sheil, D.; Cohen, J.; Murdiyarsa, D.; Gutierrez, V.; van Noordwijk, M.; Creed, I.F.; Pokorny, J.; et al. (2017). Trees, Forests and Water: Cool Insights for a Hot World. *Glob. Environ. Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
11. Spracklen, D.V.; Arnold, S.R.; Taylor, C.M. (2012). Observations of Increased Tropical Rainfall Preceded by Air Passage over Forests. *Nature*, 489, 282–285. <https://doi.org/10.1038/nature11390>
12. Ligdi, E.E.; Morgan, R.P.C. (1995). Contour grass strips: a laboratory simulation of their role in soil erosion control. *Soil Technol.*, 8, 109–117. [https://doi.org/10.1016/0933-3630\(95\)00011-0](https://doi.org/10.1016/0933-3630(95)00011-0)
13. Sheil, D. Forests, (2018). Atmospheric Water and an Uncertain Future: The New Biology of the Global Water Cycle. *For. Ecosyst.*, 5, 19. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0138>

14. Quine, T.A.; Walling, D.E.; Chakela, Q.K.; Mandiringana, O.T.; Zhang, X. (1999). Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium-137 measurements. *Catena*, 36, 115–142. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00006-5)
15. Kinama, J.M.; Stigter, C.J.; Ong, C.K.; Ng'ang'a, J.K.; Gichuki, F.N. (2007). Contour hedgerows and grass strips in erosion and runoff control on sloping land in semi-arid Kenya. *Arid Land Res. Manag.*, 21, 1–19. <https://doi.org/10.1080/15324980601074545>
16. Thapa, B.B.; Cassel, D.K.; Garrity, D.P. (1999). Ridge and contour natural grass barrier strips reduce tillage erosion. *Soil Tillage Res.*, 51, 341–356. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00047-1)
17. Tyndall, J.C.; Schulte Moore, L.A.; Liebman, M.; Helmers, M. (2013). Field-level financial assessment of contour prairie strips for enhancement of environmental quality. *Environ. Management.*, 52, 736–747. <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0106-9>
18. Hwang, T.; Band, L.E.; Miniati, C.F.; Song, C.; Bolstad, P.V.; Vose, J.M.; Love, J.P. (2015). Divergent Phenological Response to Hydroclimate Variability in Forested Mountain Watersheds. *Glob. Change Biol.*, 20, 2580–2595. <https://doi.org/10.1111/gcb.12556>
19. He, A.R.; Kong, F.F.; Shao, J. (2015). Novel curved roll contour technology for profile control in hot strip mills. *Ironmak. Steelmak.* 2015, 42, 55–62. <https://doi.org/10.1179/1743281214Y.0000000200>
20. Tadesse, L.D.; Morgan, R.P.C. (1996). Contour grass strips: a laboratory simulation of their role in erosion control using live grasses. *Soil Technol.*, 9, 83–89.
21. Garrity, D.P. (1999). Contour farming based on natural vegetative strips: expanding the scope for increased food crop production on sloping lands in Asia. *Environ. Dev. Sustain.* 1999, 1, 323–336. <https://doi.org/10.1023/A:1010091904395>
22. WOCAT. (2025). Contour Strip Cropping. World Overview of Conservation Approaches and Technologies. Available online: <https://www.wocat.net>.
23. Hudson, N.W. (1981). *Soil Conservation*; Batsford Academic and Educational Ltd.: London, UK.
24. Dahlke, H.E.; Brown, A.G.; Orloff, S.; Putnam, D.; O'Geen, A.T. (2018). Managed Aquifer Recharge as a Tool to Enhance Groundwater Sustainability. *Calif. Agric.*, 72, 12–22. <https://doi.org/10.3733/ca.2018a0001>
25. Scanlon, B.R.; Reedy, R.C.; Faunt, C.C.; Pool, D.; Uhlman, K. (2016). Enhancing Drought Resilience with Conjunctive Use and Managed Aquifer Recharge in California and Arizona. *Environ. Res. Lett.*, 11, 035013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/035013>
26. Ghassemi, F.; White, I. *Inter-Basin Water Transfer: (2007). Case Studies from Australia, United States, Canada, China and India*; Cambridge University Press: Cambridge, UK.

27. Eshtawi, T.; Evers, M.; Tischbein, B. Managed Aquifer Recharge in Arid and Semi-Arid Regions. *Water* 2020, 12, 1224. <https://doi.org/10.3390/w12051224>
28. Gorohov U. (2025). The Living Planet Concept and Biosphere Domes, <http://dve100.com/sekciya-16-yu-i-gorohov>, <https://disk.yandex.com/d/njxCaPhuECofsg?w=1>, <https://vk.com/club186620658>
29. Lukin, T.; Potapenko, A.; Zverev, A. (1987). *Forest Reclamation of Agricultural Lands*; Agropromizdat: Moscow, USSR, 1987.
30. Sevostyanova L., Zverev A. (2025). Returning Water to Rivers: Restoring Surface Hydrological Regimes by Modeling Natural Processes, <https://cosmatica.org/projects/223>
31. Gerasimov, I.; Lukyanchikov, I. (1972). *Shelterbelts and Soil Erosion Control*; Nauka: Alma-Ata, USSR
32. Ellison, D., Morris, C., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M., Creed, I., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D., Tobella, A., Ilstedt, U., Teuling, A. (2017). "Trees, forests and water: Cool insights for a hot world". *Global Environmental Change*. 43: 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
33. Makarieva, A. M.; Gorshkov, V. G. (2007). "Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land". *Hydrology and Earth System Sciences*. 11 (2): 1013–1033, <https://hess.copernicus.org/articles/11/1013/2007/>
34. Water Stories (2025). Trees rain makers, <https://www.youtube.com/watch?v=2pOEMwFfLTY>
35. Duisebek, B.; Senay, G.B.; Ojima, D.S.; Zhang, T.; Sagin, J.; Wang, X. (2025). Evaluating the Performance of Multiple Precipitation Datasets over the Transboundary Ili River Basin Between China and Kazakhstan. *Sustainability*, 17, 7418. <https://doi.org/10.3390/su17167418>
36. KazHydroMet (2025). Kaz precipitation <https://www.kazhydromet.kz/en/klimat/klimat-kazahstana>
37. Tussupova M. (2025). Running Dry: Kazakhstan's Water Crisis, Explained With Data, [https://earth.org/data\\_visualization/running-dry-kazakhstans-water-crisis-explained-with-data/](https://earth.org/data_visualization/running-dry-kazakhstans-water-crisis-explained-with-data/)
38. UNDP (2025). Tackling Water Challenges in Kazakhstan: Call For Collaborative Action And Sustainable Solutions, <https://astanatimes.com/2025/04/tackling-water-challenges-in-kazakhstan-call-for-collaborative-action-and-sustainable-solutions/>
39. Drozdov, S.N.; Ivanov, A.L.; Kirilenko, A.P. (2019). Shelterbelts and soil protection in the Russian Chernozem zone: effects on erosion and crop yields. *Eurasian Soil Science*, 52(3), 329–340. <https://doi.org/10.1134/S1064229319030043>
40. Lakyda, I.; Schepaschenko, D.; Shvidenko, A. (2016). Agroforestry and shelterbelt systems in Eastern Europe: current practices and perspectives. *Forest Policy and Economics*, 66, 1–9.

<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.02.002>

41. Novikova, A.F.; Bokusheva, R.; Calanca, P. (2017). Soil protection and productivity improvement through shelterbelts in the Russian steppe. *Agricultural Systems*, 157, 211–220.  
<https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.07.002>
42. Cordeiro, M.R.C.; Rudolph, D.L.; Parkin, G. (2020). Managing agricultural water in the Canadian Prairies with MAR systems. *Journal of Hydrology*, 586, 124869.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124869>
43. Ferguson, G.; Gleeson, T. (2012). Vulnerability of groundwater resources to climate change in Canada: MAR as a mitigation tool. *Hydrogeology Journal*, 20, 963–972.  
<https://doi.org/10.1007/s10040-012-0865-0>
44. McGill, R.; Chen, J.; Guo, Y. (2019). Agroforestry and water retention strategies in the Canadian Prairies. *Agricultural Water Management*, 216, 144–153.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.01.026>
45. Li, Y.; Li, X.; Xu, H. (2018). Integrated use of MAR and agroforestry for combating soil salinization in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 210, 1–10.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.010>
46. Zhang, L.; Chen, Y.; Wang, Y. (2020). Shelterbelts, terraces, and MAR for sustainable agriculture in arid China. *Land Degradation & Development*, 31(18), 2367–2380.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.3651>
47. Wang, T.; Zhao, H.; Wu, W. (2015). Effects of afforestation and MAR on soil and water conservation in arid regions of China. *Ecological Engineering*, 74, 384–395.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.005>
48. Sallwey, J., Ongdas, N., Al-Hosban, M., Stefan, C. (2024). Mapping the potential for managed aquifer recharge in Kazakhstan. *Central Asian Journal of Water Research*, 10(2), 95-116.  
<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-2/95-116.eng>
49. Kaz Patent (2022). Method of irrigated agriculture using melted and flood waters,  
<https://qazpatent.kz/ru/content/poleznaya-model-28102022>
50. Li, Z.; Zhu, Q.; Gold, C. (2004). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
51. Malczewski, J. (2006). GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 20, 703–726. <https://doi.org/10.1080/13658810600661508>
52. Saaty, T.L.(1980). *The Analytic Hierarchy Process*; McGraw-Hill: New York, NY, USA.
53. Rahman, M.A.; Rusteberg, B.; Gogu, R.C.; Ferreira, J.P.L.; Sauter, M.; Kabir, S. A (2012). New Spatial Multi-Criteria Decision Support Tool for Site Selection for Implementation of Managed Aquifer Recharge. *J. Environ. Manag.*, 99, 61–75.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.003>

54. Kort, J.; Collins, M.; Ditsch, D. A (1998). Review of Soil Erosion Potential Associated with Biomass Crops. *Biomass Bioenergy*, 14, 351–359. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10071-X](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10071-X)
55. Kazakhstan, (2025). 3.5 million trees and carbon credits: Kazakhstan launches largest eco-initiative in Central Asia, <https://exclusive.kz/35-mln-derevev-i-uglerodnye-kredity-kazahstan-zapustil-krupnejshuyu-ekoinicziativu-v-czentralnoj-azii/>
56. Mongolia, (2025). One billion trees, <https://montsame.mn/ru/read/353654>
57. South Korea, Mongolia (2022). Successes in forest cooperation: Greenbelt Reforestation by the Republic of Korea and Mongolia, <https://afocosec.org/newsroom/news/forestry-news/successes-in-forest-cooperation-greenbelt-reforestation-by-the-republic-of-korea-and-mongolia/>
58. Mongolian ponds (2024). 333 ponds lakes program and the “Billion Trees” National Movement, <https://www.montsame.mn/en/read/357028>
59. Mongolian Czech cooperation (2025). Nature based sustainability, <https://mongolia.mendelu.cz/en/>
60. Butan (2025). An overview of forestry in Bhutan: current situation and challenges, <https://afocosec.org/newsroom/news/forestry-news/an-overview-of-forestry-in-bhutan-current-situation-and-challenges/>
61. Canada's British Petroleum (BP) BirthPlace Forests program (2025). <https://www.calgary.ca/parks/birthplace-forests.html>
62. Australia (2025), Australian Government Department of the Environment. Directory of Important Wetlands in Australia, <https://www.mdba.gov.au/>
63. Australia Water Partnership (2025). <https://waterpartnership.org.au/>
64. ADB (2025). Establishing Mandatory Disaster Risk Insurance in Kazakhstan, <https://development.asia/insight/establishing-mandatory-disaster-risk-insurance-kazakhstan>
65. RRBC (2025). Red River Basin Commission, Three States, One Province, Two Countries, One Red River Basin, <https://www.redriverbasincommission.org/>
66. Flood-MAR (2025). Flood-MAR (Flood-Managed Aquifer Recharge) is a management strategy that uses high flood flows to spread water onto agricultural land, <https://floodmar.org/>