ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ
NATURAL SCIENCES

CENTRAL ASIAN SCIENTIFIC JOURNAL
ISSN 3135-3061
2026. №4 (32), 2-том. 219–229 б.
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24032694
Журнал сайты: https://cajournal.kz

ӘОЖ 37.091.3:504

ГИДРОПОНДЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР НЕГІЗІНДЕГІ ЭКСПЕРИМЕНТТІК ҚЫЗМЕТ АРҚЫЛЫ ОҚУШЫЛАРДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖАУАПКЕРШІЛІГІН ҚАЛЫПТАСТЫРУ

А.Т. Кинаятова, К.Е. Жанасова
Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан

Кинаятова Аяужан Талғатқызы — магистрант 2 курс студенті, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан.

Жанасова К. Е. — PhD аға оқытушы, Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан.

© А.Т. Кинаятова, К.Е. Жанасова, 2026

Аңдатпа: Мақалада гидропондық технологияларды эксперименттік және жобалық-зерттеушілік қызмет арқылы оқушылардың экологиялық жауапкершілігін қалыптастыруда пайдаланудың педагогикалық мүмкіндіктері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі экологиялық мәселелерді негізінен теориялық тұрғыдан оқып-үйренуден оқушылардың табиғи ресурстарға саналы қатынасын дамытуға ықпал ететін тәжірибеге бағытталған білім беру тәсілдеріне көшу қажеттілігімен айқындалады. Гидропоника өсімдіктер физиологиясын, судың және минералдық заттардың рөлін, өсімдік организмдерінің өсу жағдайларын, сондай-ақ ресурстарды ұтымды пайдалану мәселелерін көрнекі түрде зерттеуге мүмкіндік беретін қолжетімді білім беру құралы ретінде ерекше назарға алынады. Заманауи ғылыми жарияланымдарды талдау негізінде гидропондық эксперименттерді мектептегі биологиялық және экологиялық білім беруге кіріктіру мүмкіндіктері қарастырылады. Оқушылардың экологиялық білімін, практикалық дағдыларын және жауапкершілікті мінез-құлқын дамыту үшін жобалық оқытуды, дербес бақылауды, эксперимент жасауды және алынған нәтижелерді талдауды қолданудың орындылығы негізделеді. Шағын гидропондық қондырғыны жасауға және зерттеуге негізделген мектеп жобасының педагогикалық моделі ұсынылады.

Түйін сөздер: экологиялық жауапкершілік, экологиялық білім беру, экологиялық сауаттылық, гидропондық технологиялар, эксперименттік қызмет, жобалық оқыту, оқушылар, тұрақты даму, табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану.

Кіріспе

Қоршаған ортаның қазіргі жай-күйі өзара байланысты бірқатар экологиялық мәселелермен сипатталады, олардың ішінде су және топырақ ресурстарының ластануы, биоәртүрліліктің азаюы, климаттың өзгеруі және табиғи ресурстарды ұтымсыз пайдалану ерекше орын алады. Табиғи экожүйелерге антропогендік жүктеменің артуы тек технологиялық шешімдерді әзірлеуді ғана емес, сонымен қатар халықтың экологиялық жауапты мінез-құлқын қалыптастыруды да талап етеді. Осыған байланысты экологиялық білім беру ерекше маңызға ие болады, өйткені адамның қоршаған ортаға қатынасын айқындайтын дүниетаным, құндылық бағдарлары мен мінез-құлық қағидалары дәл мектеп жасында қалыптасады.

Қазіргі білім берудің маңызды міндеті - оқушылардың тек экологиялық мәселелерді түсінуін ғана емес, сонымен бірге қоршаған ортаның жай-күйі үшін өз жауапкершілігін

сезінуін, адам әрекетінің салдарын бағалауын және негізделген шешім қабылдауын қалыптастыру. Алайда экологиялық тақырыптарды оқытудың дәстүрлі әдістері, негізінен теориялық материалды түсіндіруге және оқу ақпаратын қайта жаңғыртуға негізделгендіктен, алынған білімнен практикалық экологиялық жауапты мінез-құлыққа көшуді әрдайым қамтамасыз ете бермейді. Бұл қорытынды 43 елден 169 зерттеуді қамтыған метаанализбен үйлеседі: экологиялық білім беру оқушылардың экологиялық білімін айтарлықтай арттырады, ал көзқарастарға, ниеттерге және мінез-құлыққа әсері, оның өзінде мінез-құлық көпшілік зерттеулерде өзін-өзі бағалау арқылы өлшенгендіктен, әлдеқайда төмен [1].

Осы тұрғыда оқушыларға табиғи процестерді өз бетінше зерттеуге, себеп-салдарлық байланыстарды анықтауға, бақылау нәтижелерін талдауға және алған білімдерін практикалық міндеттерді шешуге қолдануға мүмкіндік беретін эксперименттік қызмет ерекше өзектілікке ие болады. Экологиялық білім беру саласындағы сыни шолулар мен оқушылардың мінез-құлқын өзгерту тұжырымдамалары оқушылардың белсенді қатысуының және нақты әрекет тәжірибесінің рөліне назар аударады, тек ақпарат беруге ғана емес [2, 3].

Мұндай қызметті ұйымдастырудың перспективалы бағыттарының бірі мектеп білімінде гидропондық технологияларды пайдалану. Гидропоника - өсімдіктерді дәстүрлі топырақсыз өсіру тәсілі, онда қажетті минералдық элементтер тамыр жүйесіне сулы коректік ерітінді арқылы келіп түседі. Бұл технология өсімдіктердің қажеттіліктерін, су ресурстарының маңызын, минералдық қоректенудің рөлін және қоршаған орта факторларының тірі организмдердің дамуына әсерін практикада зерттеуге мүмкіндік береді. Гидропондық жүйелердің қарапайым түрлері арнайы жабдықты, электр энергиясын және айтарлықтай алаңды қажет етпейтіні, сондықтан кез келген мектепке қолжетімді екені ерекше құнды [4].

Гидропониканы білім беру процесінде пайдалану биологиялық, экологиялық, химиялық және технологиялық білімді кіріктіруге жағдай жасайды. Бұл ретте оқушылар зерттеу процесінің тікелей қатысушысына айналады: қондырғыларды өздері жасайды, өсімдіктер өсіреді, өлшеулер жүргізеді, өзгерістерді тіркейді және қорытынды жасайды. Сонымен қатар ғылыми әдебиеттерде гидропоникаға дәл экологиялық жауапкершілікті қалыптастыру құралы ретінде (ғылымға қызығушылықты немесе өсімдіктер туралы білімді емес) шектеулі назар аударылады. Бұл осы жұмыстың ғылыми мәселесін айқындайды: гидропондық экспериментті білімді меңгеруге ғана емес, табиғи ресурстарға құндылықты қатынасты және жауапты әрекетке дайындықты қалыптастыруға да ықпал ететіндей етіп қалай ұйымдастыру керек.

Мақаланың мақсаты - оқушылардың экологиялық жауапкершілігін эксперименттік және жобалық-зерттеушілік қызмет арқылы қалыптастыруда гидропондық технологиялардың педагогикалық әлеуетін теориялық тұрғыдан негіздеу. Мақсатқа жету үшін мынадай міндеттер қойылды: экологиялық жауапкершілік ұғымының мазмұнын және оның құрамдастарын нақтылау; мектептегі оқытуда гидропониканы пайдалану бойынша заманауи зерттеулерді талдау; экологиялық білім берудегі жобалық оқытудың мүмкіндіктерін қарастыру; мектеп жобасының моделін және оның нәтижелілігін бағалау өлшемдерін ұсыну. Зерттеу әдістері: ғылыми жарияланымдарды теориялық талдау және жинақтау, білім беру процесін модельдеу.

1. Оқушылардың экологиялық жауапкершілігін қалыптастырудың теориялық негіздері

Экологиялық жауапкершілік - тұлғаның экологиялық мәдениетінің маңызды құрамдас бөлігі, ол адамның қоршаған ортаға, табиғи ресурстарға және өз әрекетінің салдарына саналы қатынасын сипаттайды. Ол экологиялық мәселелерді түсінуде ғана емес, оларды болдырмауға және шешуге қатысуға дайындықта да көрінеді.

Экологиялық сауаттылық пен экологиялық жауапкершілік ұғымдарын ажырату қажет. Экологиялық сауаттылық қоршаған орта туралы білімнің болуын, экологиялық өзара байланыстарды түсінуді және табиғатты қорғау мәселелерін талдау қабілетін көздейді. Экологиялық жауапкершілік өз кезегінде тұлғаның табиғатқа құндылықты қатынасын және

өз шешімдерінің экологиялық салдарын ескере отырып әрекет етуге дайындығын көрсетеді. Соңғы жылдардағы қазақстандық зерттеулерде функционалдық экологиялық сауаттылыққа, яғни білімді нақты жағдайларда қолдану және шешім қабылдау қабілетіне баса назар аударылады; авторлар экологиялық ақпаратты меңгеруден сыни ойлауды және өзіндік талдауды дамытуға көшу қажеттігін атап көрсетеді [5].

Жауапты экологиялық мінез-құлықты қандай факторлар айқындайтыны туралы мәселе бірнеше онжылдық бойы зерттелуде. Дж. Хайнс, Х. Хангерфорд және А. Томераның классикалық метаанализінде жауапты экологиялық мінез-құлықпен байланысты айнымалылар анықталды: экологиялық мәселелерді білу, әрекет ету стратегияларын білу, бақылау локусы, көзқарастар, вербалды міндеттеме және жеке жауапкершілік сезімі [6]. Кейін С. Бамберг пен Г. Мёзер 57 іріктемені талдап, шамасы жағынан ұқсас байланыстарды растады және әрекет ету ниеті басқа психоәлеуметтік айнымалылардың мінез-құлыққа әсерін делдалдайтынын, ал тұлғалық моральдық норма көзқарас пен қабылданатын бақылаумен қатар осындай ниеттің үшінші болжаушысы екенін көрсетті [7]. Яғни жауапты мінез-құлық үшін мәселені білудің өзі жеткіліксіз: жеке қатыстылықты сезіну, моральдық нормалар және өз әрекеттерінің жағдайды өзгерте алатынына сену қажет.

Осыған ұқсас тұжырым сана мен әрекет арасындағы алшақтыққа арналған еңбектерде де бар. А. Коллмусс пен Дж. Агейман экологиялық мінез-құлықтың ішкі және сыртқы факторлардың күрделі үйлесімімен айқындалатынын және «білім - көзқарас - мінез-құлық» сызықтық сызбасымен түсіндірілмейтінін көрсетті [8]. П. Стерн экологиялық маңызды мінез-құлықты көзқарастық факторлардың, контекстік жағдайлардың, жеке мүмкіндіктер мен дағдылардың өзара әрекеттесу нәтижесі ретінде қарастырады [9]. Т. Марцинковски мен А. Рейд жүргізген көзқарас пен мінез-құлық байланысы туралы зерттеулер шолуы да көзқарастың өзгеруі мінез-құлықтың өзгеруіне автоматты түрде әкеледі деген болжамға сақтықпен қарау қажеттігін көрсетеді [10]. Педагогикалық практика үшін бұдан маңызды қорытынды шығады: білім беру бағдарламасы тек білім беруді ғана емес, нақты әрекетке, оның салдарын бақылауға және рефлексияға мүмкіндіктерді де қамтуы тиіс.

Экологиялық жауапкершілікті қалыптастыру өзара байланысты бірнеше құрамдас бөлікті дамытуды көздейді:

1. Когнитивтік құрамдас - экологиялық мәселелер, табиғи ресурстар, экожүйелер және тұрақты даму қағидаттары туралы білім.

2. Құндылықты-уәждемелік құрамдас - қоршаған ортаны сақтаудың маңызын түсіну, табиғатқа ұқыпты қатынасты қалыптастыру.

3. Практикалық-әрекеттік құрамдас - экологиялық білімді практикалық қызметте қолдану, зерттеу жүргізу және экологиялық мәселелердің шешімін табу қабілеті.

4. Мінез-құлықтық құрамдас - экологиялық жауапты мінез-құлық нормаларын сақтауға және оларды күнделікті өмірде қолдануға дайындық.

Экологиялық мәселелерді теориялық түсінуден өз бетінше практикалық қызметке көшу ерекше маңызға ие. Мысалы, суды үнемдеу қажеттігін білу оқушының оның шығынын саналы түрде бақылайтынын әрдайым білдірмейді. Алайда пайдаланылған су көлемі өлшенетін эксперименттің тікелей қатысушысы болу мәселені нақтырақ және түсінікті етеді.

Осылайша, экологиялық жауапкершілік оқушылар қоршаған орта объектілерімен өз бетінше әрекеттесіп, өз әрекетінің салдарын бақылап, өз қызметінің нәтижесін бағалау мүмкіндігіне ие болғанда тиімдірек қалыптасады. Экологиялық жауапкершілік құрамдастарының арақатынасы, олардың ықтимал көрсеткіштері және гидропондық эксперименттегі көріну тәсілдері 1-кестеде берілген.

1-кесте. Экологиялық жауапкершілік құрамдастары және олардың гидропондық жобада көрінуі

Құрамдас	Не қалыптасады	Гидропондық жобада көрінуі
Когнитивтік	Өсімдіктердің қажеттіліктері, судың және минералдық заттардың рөлі, ресурстар туралы білім	Қондырғының жұмыс принципін түсіндіру, қоректік ерітінді құрамын сипаттау

Құрамдас	Не қалыптасады	Гидропондық жобада көрінуі
Құндылықты-уәждемелік	Табиғатқа ұқыпты қатынас, экологиялық мәселелерді шешуге қызығушылық	Су ресурстарының маңызын талқылау, жоба үшін экологиялық мәселені таңдау
Практикалық әрекеттік	Эксперимент жүргізу, өлшеу және деректерді талдау дағдысы	Қондырғыны құрастыру, бақылау күнделігін жүргізу, графиктер құру
Мінез- құлықтық	Күнделікті өмірде жауапты әрекет етуге дайындық	Су шығынын бақылау, материалдарды қайта пайдалану, мектептік акцияларға қатысу

2. Гидропондық технологиялар экологиялық білім берудің құралы ретінде

Гидропоника - өсімдіктерді дәстүрлі топырақ субстратынсыз өсіру технологиясы, онда тамыр жүйесі қажетті минералдық қоректену элементтерін сулы ерітіндіден алады. Қолданылатын жүйеге байланысты өсімдіктер әртүрлі субстраттарды, мысалы керамзитті, минералды мақтаны немесе механикалық тірек қызметін атқаратын басқа материалдарды пайдаланып өсірілуі мүмкін. Гидропондық жүйелердің әртүрлі типтері белгілі: ағынды (рециркуляциялық) жүйелер, терең су мәдениеті, тамшылатып суару, сондай-ақ ерітінді айналмайтын пассивті жүйелер. Соңғыларына Кратки әдісі жатады - жапырақты көкөністерді өсіруге арналған, сорғыны да, электр энергиясын да қажет етпейтін қарапайым айналымсыз жүйе [4]. Дәл осындай жүйелер мектеп жағдайына неғұрлым қолайлы, өйткені оларды жасау оңай, қауіпсіз және арзан.

Білім беру тұрғысынан гидропоника өсімдіктердің тіршілік процестерін көрнекі зерттеу мүмкіндігіне байланысты қызығушылық тудырады. Оқушылар тамыр жүйесінің дамуын, жапырақтардың түзілуін, жарықтандырудың, температураның, су режимі мен минералдық қоректенудің өсімдіктердің өсуіне әсерін тікелей бақылай алады. Салат дақылдарының қысқа вегетациялық кезеңі нәтижені бірнеше апта ішінде алуға мүмкіндік береді, бұл мектеп күнтізбесі үшін маңызды.

Choi, Kim және Yu (2023) зерттеуінде орта мектеп оқушылары үшін гидропондық технологияларды қолдана отырып өсімдік өсіру бойынша STEAM-бағдарлама әзірленді. Бағдарлама ғылыми білімді, технологиялық жобалауды және математикалық әдістерді кіріктіруді көздеді. Авторлар оқушылардың өсімдіктерді себуден жинауға дейін бес-алты апта ішінде өз бетінше өсіре алатынын көрсетті. Бағдарламаны сынақтан өткізу барысында оқушылардың өсімдіктерге қатынасында оң өзгерістер және білім беру процесіне қанағаттану да байқалды [11].

Kwok және авторлар тобының (2021) зерттеуінде денсаулықты нығайтуға және оқушылардың жасыл білім беру ортасымен өзара әрекетін жақсартуға бағытталған мектеп бағдарламасы аясында өсімдіктерді гидропондық өсіруді қолдану қарастырылды. Зерттеуге 7-9 сынып оқушыларының 553-і қатысты. Гидропондық қызмет апта сайын екі рет, сегіз ай бойы жүзеге асырылды. Нәтижелер мектептің жасыл кеңістіктерін пайдалануда, оқушылардың осы ортадағы белсенділігі мен құзыреттілігінде оң өзгерістерді көрсетті [12].

Almerino мен Peria (2024) да гидропониканы жоғары сыныптарда биологияны оқытудың практикалық құралы ретінде қарастырды. Авторлардың пікірінше, гидропондық эксперименттерді оқу процесіне енгізу оқушылардың биологияға қызығушылығын арттыруға, өсімдіктердің даму процестерін түсінуге және ғылыми зерттеу дағдыларын қалыптастыруға ықпал етеді [13].

Anis, Azizah және Rukayah (2024) гидропондық технологияларды қолданумен эксперименттік әдістің жаратылыстану ғылымдарын оқыту нәтижелеріне әсерін зерттеді. Авторлар алдын ала және қорытынды тестілеуді пайдалана отырып салыстырмалы тәсілді қолданды. Эксперименттік топтың орташа нәтижесі 89,31 балл, ал бақылау тобының нәтижесі 74,33 балл болды. Алынған нәтижелер тек дәріс форматымен салыстырғанда тікелей эксперимент жасаудың білім беру әлеуетін көрсетеді [14]. Оқушылардың жаратылыстану ғылымдары бойынша білімін гидропондық жинақ арқылы бағалау малайзиялық авторлардың еңбегінде де берілген [15].

Әртүрлі елдерде орындалған зерттеулер гидропониканың білім беру әлеуеті тек бастауыш мектеп жасымен шектелмейтінін көрсетеді. А. Пэтчен, Л. Чжан және М. Барнетт бастауыш мектепке арналған сабақтан тыс гидропондық бағдарламаны сипаттады: оған қатысушылардың ғылымға көзқарасында оң өзгерістер байқалды; ғылымды оқитын оқушылар ретінде өзіне деген сенімділік барлық үш алаңда қыздарда артты, ал бағдарламаның өзі әртүрлі жағдайда, оның ішінде жаратылыстану ғылымдарын оқытуда тәжірибесі аз педагогтер үшін де қайта жаңғыртуға болатын болып шықты [16]. Е. Пападопулу және авторлар тобы гидропоника мен 3D-басып шығаруды біріктіретін үш айлық жобаны грек мектебінің төртінші және бесінші сынып оқушыларының 57-сінің қатысуымен жүзеге асырды; ең дамыған дағдылар - ынтымақтастық пен коммуникация, ең аз дамығаны - шығармашылық болды, ал авторлардың өздері шағын іріктememен және әсерлердің қысқа мерзімділігімен байланысты зерттеу шектеулерін көрсетеді [17]. Бразилиялық педагогтер Рио-де-Жанейродағы мемлекеттік мектептің бастауыш сынып оқушылары үшін салатты гидропондық жүйеде өсіруді сыныптан тыс ресурс ретінде пайдаланды: қызмет пәнаралық сипатта болды және денсаулық экологиясы мен тұрақтылық мәселелерін талқылауды ынталандырды [18]. Роатан аралында өткен қысқа мерзімді оқу курсының тәжірибесі гидропондық өсіруді практикалық зерттеуді кәсіпкерлік білім берумен және судың пен жарықтың өсімдіктердің өсуіндегі рөлін зерттеумен ұштастыруға болатынын көрсетеді [19].

Экологиялық қатынасты қалыптастыруға тікелей Suryani және авторлар тобының (2020) зерттеуі жүгінеді: бесінші сынып оқушыларының қатысуымен сапалық зерттеуде себу, көшет өсіру, өсу және өнімді жинау кезеңдері бойынша ұйымдастырылған гидропондық бағдарлама қоршаған ортаға қамқорлықты тәрбиелеу үшін пайдаланылды. Мұндай қатынастың ең айқын көрінісі өсімдіктерге күтім жасау болды, ең азы - жайлы орта құру; қалыптасқан көзқарастардың қатарында авторлар өсімдік өсіруге қызығушылықты, су мен энергияны үнемді жұмсауды, қоқысты қоқыс жәшігіне тастауды және заттарды қайта пайдалануды атайды [20]. Бұл гидропоника тек білімнің емес, дәл құндылықты қатынасты дамыту құралы ретінде қарастырылатын аз еңбектің бірі.

Қарастырылған зерттеулер мектеп білімінде гидропондық технологияларды пайдаланудың бірнеше артықшылығын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді:

- биологиялық және экологиялық процестердің көрнекілігін қамтамасыз ету;
- зерттеушілік және эксперименттік дағдыларды дамыту;
- әртүрлі оқу пәндері бойынша білімді кіріктіру;
- оқушылардың биологияны оқуға қызығушылығын арттыру;
- табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануды практикада зерттеуге жағдай жасау;
- топтық жұмыс кезінде коммуникативтік және ынтымақтастық дағдыларын дамыту.

Бұл ретте гидропониканың өсімдік өсірудің экологиялық тұрғыдан автоматты түрде тиімдірек тәсілі еместігін ескеру маңызды. Салатты гидропондық және дәстүрлі тәсілдермен өсіруді салыстыру гидропондық жүйе айтарлықтай аз су мен жерді қажет етсе де, айтарлықтай көп энергияны қажет ететінін көрсетті [21]. Бақыланатын орта жағдайында салат өсірудің өмірлік циклін бағалау ашық топырақ пен аз энергия қажет ететін жылыжайлар климаттық әсерден басқа әсер санаттарының барлығына дерлік жоғары жүктеме түсіретінін, ал климаттық әсер бойынша қолайсыз фактор жасанды жарықтандыру мен климат-бақылаудың энергия сыйымдылығы екенін көрсетті; авторлардың пікірінше, бұл әсерді төмен көміртекті электр энергиясы мен табиғи жарықты пайдалану арқылы азайтуға болады [22]. Топырақты және топырақсыз жүйелерді салыстырмалы бағалауда негізгі жүктеме көздері ретінде топырақ жүйелері үшін тыңайтқыштар, дизель отыны мен су, ал гидропондық және аэропондық жүйелер үшін дәстүрлі электр энергиясы аталған [23]. Соңында гидропониканың экологиялық сипаттамаларына су көзі, субстраттар, тыңайтқыштар және энергия әсер ететіні көрсетілді: тазартылған ағынды суды пайдалану қоршаған ортаға әсерді кәдімгі сумен салыстырғанда азайтты [24].

Осылайша, гидропониканың экологиялық артықшылықтары мен шектеулері су шығынына, электр энергиясына, қоректік ерітінділердің құрамына, пайдаланылатын материалдарға және өндірісті ұйымдастыруға байланысты. Дәл осы факторларды салыстырмалы талдау оқушылар үшін дербес зерттеу міндеті бола алады және гидропондық жобаны технологияны жарнамалау емес, сыни ойлау құралына айналдырады.

3. Экологиялық жауапкершілікті қалыптастырудағы жобалық және эксперименттік оқытудың рөлі

Жобалық оқыту (Project-Based Learning, PBL) - оқушылар практикалық маңызды мәселені шешу және нақты өнім немесе нәтиже жасау процесінде білім алып, құзыреттерін дамытатын білім беру тәсілі. Д. Кокотсаки, В. Мензис және А. Виггинс жүргізген әдебиет шолуы жобалық тәсілдің уәждеменің, қатысудың артуымен және ынтымақтастық дағдыларының дамуымен байланысты екенін көрсетеді, алайда оның табысты іске асуы мұғалімдердің дайындығына, уақытты ұйымдастыруға және бағалаудың жоба мақсаттарымен сәйкестігіне байланысты [25].

Дәстүрлі оқытудан айырмашылығы, жобалық қызмет оқушылардың мәселені қоюға, жұмысты жоспарлауға, ақпарат іздеуге, зерттеу жүргізуге және алынған нәтижелерді ұсынуға белсенді қатысуын көздейді. Бұл тәсіл экологиялық білім беруде ерекше маңызға ие, өйткені оқу материалын қоршаған ортаның нақты мәселелерімен байланыстыруға мүмкіндік береді.

Pertiwi, Oetomo және Sugiharto (2024) оқушылардың экологиялық сауаттылығын дамытудағы STEM-жобалық оқытудың тиімділігін зерттеді. Авторлар жобалық оқытудың және оны STEM-тәсілмен кіріктірудің нәтижелерін салыстырды. Зерттеу оқушылардың экологиялық білімі мен дағдыларын дамыту үшін пәнаралық жобалық қызметті пайдаланудың маңыздылығын көрсетті [26].

Соңғы жылдардағы жүйелі шолулар бұл қорытындыларды растайды. PRISMA әдістемесі бойынша жүргізілген және 10 мақаланы (барлығы 455 қатысушы) қамтыған шолуда жобалық оқытуды қолдану мен экологиялық хабардарлық арасында маңызды оң корреляция (0,52-ден 0,96-ға дейін) көрсетілген; авторлар жоба кезеңдерінің санын тиімділікті жоғалтпай қысқартуға болады деген қорытындыға келеді [27]. Бастауыш мектепке арналған 2020–2025 жылдардағы жүйелі шолу жеті эмпирикалық зерттеу негізінде когнитивтік, аффективтік және мінез-құлықтық салаларда да оң нәтижелерді көрсетті; қолайлы жағдайлар ретінде мектеп басшылығының қолдауы, мұғалімдердің даярлығы мен ынтымақтастығы, оқу жоспарының икемділігі, ал шектеуші жағдайлар ретінде оқу уақытының, ресурстардың және педагогтердің дайындығының жетіспеушілігі аталған [28]. Университеттің тұрақты даму қызметі - нақты тапсырыс беруші үшін 16 апталық жобаға қатысқан студенттермен жүргізілген эксперимент экологиялық көзқарастар мен тұрақты әрекет ету ниеттерінің өскенін көрсетті, алайда авторлар іріктеменің шектеулі екенін (30 адам, бір оқу орны) атап өтеді [29].

Kabylbek және Childibayev (2023) жоғары сынып оқушыларының функционалдық экологиялық сауаттылығын арттыру контекстінде зерттеу қызметінің әдістемесін қарастырды. Авторлар экологиялық ақпаратты қарапайым меңгеруден сыни ойлауды, өзіндік талдауды және алған білімді экологиялық мәселелерді шешуге қолдану қабілетін дамытуға көшу қажеттігін атап көрсетеді [5].

Kabylbek және авторлар тобының (2025) кейінгі зерттеуінде Алматы жоғары сынып оқушыларының экологиялық білімі, хабардарлығы және табиғатты қорғау қызметіне тартылуы зерттелді. Сауалнамаға 269 оқушы қатысты, ал зерттеудің эксперименттік бөлігі үш ай жалғасып, 65 оқушыны қамтыды. Авторлар зерттеу қызметіне қатысу экология және экологиялық ғылымдар саласындағы білімнің артуына ықпал еткенін анықтады [30].

Осылайша, жобалық және эксперименттік оқытуды экологиялық жауапкершілікті қалыптастырудың тиімді негізі ретінде қарастыруға болады, өйткені ол өз бетінше зерттеуге және экологиялық білімді практикада қолдануға жағдай жасайды. Сонымен бірге шолулардың нәтижелері жобалық оқытудың әсері автоматты болмайтынын және

институционалдық жағдайларға және жобаны ұйымдастыру сапасына байланысты екенін көрсетеді.

Гидропондық білім беру контекстінде жобалық қызмет бірнеше бағытты біріктіруге мүмкіндік береді:

- биологиялық - өсімдіктердің өсуі мен дамуын зерттеу;
- экологиялық - су мен минералдық ресурстарды ұтымды пайдалануды зерттеу;
- химиялық - қоректік ерітіндінің құрамы мен қышқылдығын зерттеу;
- математикалық - сандық көрсеткіштерді өлшеу, өңдеу және салыстыру;
- технологиялық - гидропондық қондырғыны жобалау және жасау.

Білім беру процесін мұндай пәнаралық ұйымдастыру оқушыларға экологиялық мәселелерді ғылыми тәсілді және практикалық шешімдерді қажет ететін кешенді құбылыстар ретінде қабылдауға мүмкіндік береді.

4. Гидропондық эксперимент негізінде экологиялық жауапкершілікті қалыптастырудың педагогикалық моделі

Қарастырылған ғылыми зерттеулер негізінде оқушылардың экологиялық жауапкершілігін эксперименттік қызмет арқылы қалыптастыруға бағытталған «ЭкоГидро» мектеп жобасының моделін ұсынуға болады. Жобаның негізгі идеясы - оқушылар топырақсыз өсімдік өсірудің ерекшеліктерін өз бетінше зерттеп, табиғи ресурстардың пайдаланылуын бағалайтын қолжетімді шағын гидропондық қондырғы жасау. Модель әдебиетті талдаудан туындайтын үш қағидаға сүйенеді: біріншіден, білімнің өзі жауапты мінез-құлыққа кепілдік бермейді, сондықтан нақты әрекет пен рефлексия қажет [6, 7]; екіншіден, қызметті жобалық ұйымдастыру мектептің қолдауы болғанда экологиялық хабардарлық пен қатысуды арттырады [28]; үшіншіден, гидропониканы сыни тұрғыдан, ресурстарды салыстырмалы зерттеу пәні ретінде қарастыру керек [21, 22].

Жобаның мақсаты: гидропондық технологияларды және су ресурстарын ұтымды пайдалануды практикалық зерттеу арқылы оқушылардың экологиялық жауапкершілігін қалыптастыру.

Жобаның негізгі міндеттері:

1. Өсімдіктерді гидропондық өсіру қағидаттарын зерттеу.
2. Өсімдіктердің тіршілігіндегі судың және минералдық заттардың маңызын анықтау.
3. Қолжетімді материалдардан қарапайым гидропондық қондырғы жасау.
4. Өсімдіктерді топырақсыз өсіру бойынша эксперимент жүргізу.
5. Өсімдіктердің топырақта және гидропондық өсіру кезіндегі дамуын салыстыру.
6. Екі жүйедегі су шығынының ерекшеліктерін зерттеу.
7. Нәтижелерді талдау және экологиялық тұрғыдан негізделген қорытындылар жасау дағдыларын дамыту.

Зерттеу объектісі ретінде салат, рукола немесе базилик сияқты тез өсетін өсімдіктерді пайдалану ұсынылады. Эксперимент жүргізу үшін Кратки әдісі деп аталатын пассивті гидропоника әдісін қолдануға болады. Бұл тәсіл ерітіндінің үздіксіз айналымын және электр сорғысын пайдалануды қажет етпейді, бұл оны мектептің білім беру ортасына ыңғайлы етеді [4]. Ерітіндіге арналған ыдысты балдырлардың өсуін шектеу үшін күңгірттеу керек, ал тәжірибе барысында ерітінді деңгейі біртіндеп төмендеп, тамырлар үшін ауа қабатын қалдыруы тиіс.

Экспериментті екі топта ұйымдастыру ұсынылады:

Бақылау тобы: өсімдіктер дәстүрлі тәсілмен топырақта өсіріледі.

Эксперименттік топ: өсімдіктер гидропондық жүйе мен қоректік ерітіндіні пайдалана отырып өсіріледі.

Нәтижелердің сенімділігін қамтамасыз ету үшін мүмкіндігінше бірдей өсімдік сорттарын, бір партиядағы тұқымдарды, жарықтандырудың, температураның және өсіру ұзақтығының бірдей жағдайларын пайдалану қажет. Оқушылар тәжірибенің қайталануының және кездейсоқ өзгергіштіктің маңызын практикада түсінуі үшін әр топта бірнеше қайталама көздеген жөн.

Зерттеу барысында оқушылар мынадай көрсеткіштерді тіркей алады:
- өсімдіктердің биіктігі;
- қалыптасқан жапырақтар саны;
- тамыр жүйесінің ұзындығы;
- эксперимент соңындағы өсімдіктердің массасы;
- пайдаланылған су көлемі;
- өсімдіктердің сыртқы күйінің өзгерістері.

Алынған деректер кестелерге енгізіледі, графиктер түрінде ұсынылады және оқушылармен талданады. Бақылауларды жазудың ұсынылатын нысаны 2-кестеде берілген.

2-кесте. Эксперимент бойынша бақылау күнделігінің нысаны (үлгі)

Көрсеткіш	Өлшем бірлігі	Қалай өлшенеді	Жиілігі
Өсімдік биіктігі	см	Сызғыш	Аптасына бір рет
Жапырақ саны	дана	Санау	Аптасына бір рет
Тамыр ұзындығы	см	Сызғыш (тәжірибе соңында)	Аяқталғанда
Өсімдік массасы	г	Электронды таразы	Аяқталғанда
Су көлемі	мл	Өлшегіш стақан	Аптасына бір рет
Өсімдік күйі	сипаттама	Фото және жазбалар	Аптасына бір рет

Нәтижелерді экологиялық тұрғыдан түсіндіруге ерекше көңіл бөлу қажет. Мысалы, оқушылар өсімдіктердің неліктен суды және минералдық элементтерді қажет ететінін, өсірудің тиімділігіне қандай факторлар әсер ететінін және әртүрлі технологиялардың қандай экологиялық шектеулері бар екенін талқылай алады. Энергия шығындары туралы мәселені талқылау маңызды элемент болып табылады: егер мектеп моделінде сорғылар мен жасанды жарықтандыру пайдаланылмаса, оқушылар электр энергиясы әсердің едәуір бөлігін құрайтын өнеркәсіптік жағдайларда технологияны масштабтау кезінде ресурстар балансының қалай өзгеретінін анықтай алады [22, 23].

Жоба мынадай кезеңдерді қамтуы мүмкін:

1. Дайындық кезеңі: экологиялық мәселені қою, гидропондық технологияларды зерттеу және қатысушылар арасында міндеттерді бөлу.
2. Жобалау кезеңі: өсімдіктерді таңдау, материалдарды дайындау және эксперименттік жоспарды әзірлеу.
3. Практикалық кезең: қондырғыны жасау, тұқым себу, өсімдіктер өсіру және бақылау жүргізу.
4. Талдау кезеңі: эксперименттік деректерді өңдеу, графиктер құру және салыстырмалы талдау.
5. Рефлексиялық кезең: алынған нәтижелерді талқылау, қорытынды жасау және жобаның экологиялық маңызын бағалау.

Жобадағы мұғалімнің рөлі дайын білім беруде емес, зерттеу ортасын ұйымдастыруда: проблемалық сұрақтар қоюда, кеңес беруде, қауіпсіздікті қамтамасыз етуде және рефлексияны қолдауда. Жобалық оқытуды енгізу тәжірибесі көрсеткендей, табыс педагогтердің дайындығына және институционалдық қолдауға байланысты [25, 28]. Мұғалімнің жүктемесін азайту үшін топтардағы рөлдерді бөлуді (өлшеулерге, күнделікті жүргізуге, деректерді талдауға, презентацияға жауапты) пайдалануға болады, бұл бір мезгілде оқушылардың коммуникативтік дағдыларын дамытады.

Осылайша, оқушылар өсімдік өсірудің балама технологиясымен танысып қана қоймай, табиғи ресурстарды пайдалану мәселелерін өз бетінше зерттейді, шаруашылық қызметтің әртүрлі тәсілдерінің салдарын бағалауды және негізделген шешімдер ұсынуды үйренеді.

5. Оқушылардың экологиялық жауапкершілігінің қалыптасуын бағалау өлшемдері

Ұсынылған тәсілдің педагогикалық нәтижелілігін анықтау үшін оқушылардың экологиялық жауапкершілігін бағалау өлшемдерінің жүйесін әзірлеу қажет. Жоғарыда қарастырылған құрамдастарға сәйкес төрт негізгі өлшемді бөліп көрсету ұсынылады.

Когнитивтік өлшем. Оқушылардың экологиялық мәселелер, гидропондық өсіру қағидаттары, су және минералдық ресурстардың маңызы туралы білім деңгейін анықтайды.

Құндылықты-уәждемелік өлшем. Оқушылардың қоршаған ортаға қатынасын, экологиялық мәселелерді шешуге қызығушылығын және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану қажеттігін түсінуін көрсетеді.

Практикалық-әрекеттік өлшем. Оқушылардың экспериментті өз бетінше ұйымдастыру, бақылау, өлшеу жүргізу, алынған нәтижелерді талдау және шешімдер ұсыну қабілетін сипаттайды.

Мінез-құлықтық өлшем. Оқушылардың экологиялық білімді күнделікті өмірде қолдануға, суды үнемдеуге, қалдықтарға жауапты қарауға және табиғатты қорғау қызметіне қатысуға дайындығын анықтайды.

Бұл өлшемдерді бағалау үшін мынадай диагностикалық әдістер қолданылуы мүмкін:

- жобаны іске асыруға дейін және одан кейін тестілеу;
- оқушыларды сауалнамалау;
- педагогикалық бақылау;
- эксперименттік қызмет күнделіктерін талдау;
- практикалық тапсырмаларды бағалау;
- жобалық жұмыстар мен қорытынды презентацияларды талдау.

Неғұрлым объективті бағалау үшін бақылау және эксперименттік топтарды пайдалану ұсынылады. Бақылау тобында экологиялық тақырыптар негізінен дәстүрлі әдістермен оқытылады, ал эксперименттік топ «ЭкоГидро» жобасына қатысады. Кіріс және қорытынды диагностика нәтижелерін салыстыру оқушылардың экологиялық білімінің, құндылық көзқарастарының, практикалық дағдыларының және экологиялық жауапты мінез-құлқының динамикасын анықтауға мүмкіндік береді.

Бұл ретте білім мен көзқарастың өзгеруі күнделікті мінез-құлықтың тұрақты өзгеруін әрдайым білдірмейтінін ескеру маңызды. Метаанализ мінез-құлық көрсеткіштері көпшілік зерттеулерде өзін-өзі бағалауға негізделгенін, ал мінез-құлық пен ниеттер бойынша әсерлер білімге қарағанда төмен екенін көрсетті [1]. Сондықтан мінез-құлықтық құрамдасты бағалау тек сауалнамадағы жауаптарды емес, оқушылардың нақты әрекеттерін бақылауды (мысалы, сыныптағы су шығынын тіркеу, қалдықтарды сұрыптау, акцияларға қатысу) қамтуы тиіс, ал қайталама диагностиканы жоба аяқталғаннан кейін бірнеше айдан соң жүргізген жөн.

Ұсынылған модельдің шектеулеріне оның теориялық сипаты жатады: ол әдебиетті талдауға негізделген және әлі мектеп практикасында сыналған жоқ. Бұдан басқа, әдебиетте сипатталған гидропондық бағдарламалардың нәтижелері негізінен шағын іріктемелерде және қысқа мерзімді перспективада алынған [12, 17], ал модельдің өзі үшін әртүрлі білім беру жағдайларында тексеру қажет.

Қорытынды

Ғылыми жарияланымдарды талдау гидропондық технологиялардың оқушыларға арналған тәжірибеге бағытталған экологиялық білім беруді ұйымдастыру үшін айтарлықтай педагогикалық әлеуетке ие екенін көрсетеді. Оларды қолдану биологиялық процестерді зерттеуді, зерттеу қызметін және табиғи ресурстарға жауапты қатынасты қалыптастыруды біріктіруге мүмкіндік береді.

Гидропондық қондырғыларды білім беру процесінде пайдалану өз бетінше бақылауға, эксперимент жасауға, нәтижелерді талдауға және түсіндіруге жағдай жасауға ықпал етеді. Бұл ретте мәселені қоюдан бастап түпкілікті нәтижені ұсынуға дейінгі зерттеудің барлық кезеңдерінде оқушылардың белсенді қатысуын көздейтін оқытуды жобалық ұйымдастыру ерекше рөл атқарады.

Ұсынылған «ЭкоГидро» мектеп жобасын биологиялық және экологиялық білім беруді кіріктірудің бір нұсқасы ретінде қарастыруға болады. Оның практикалық маңызы топырақсыз өсімдіктердің өсуін зерттеу, су шығынын зерттеу және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану туралы түсінік қалыптастыру мүмкіндігінде.

Сонымен бірге гидропондық технологияларды дәстүрлі егіншілікке қарағанда міндетті түрде экологиялық тұрғыдан тиімдірек балама ретінде қарастыруға болмайды. Олардың білім беру құндылығы, ең алдымен, өсімдік өсірудің әртүрлі тәсілдерінің артықшылықтарын, шектеулерін және экологиялық салдарын сыни тұрғыдан зерттеу мүмкіндігінде.

Осылайша, гидропондық технологияларға негізделген эксперименттік қызмет оқушылардың экологиялық жауапкершілігін қалыптастырудың педагогикалық құралы бола алады. Одан әрі зерттеулер ұсынылған модельді практикада сынақтан өткізуге, диагностикалық құралдарды әзірлеуге және оның оқушылардың экологиялық біліміне, құндылық көзқарастарына және мінез-құлқына әсерін анықтауға бағытталуы тиіс.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. van de Wetering J., Leijten P., Spitzer J., Thomaes S. Does environmental education benefit environmental outcomes in children and adolescents? A meta-analysis // Journal of Environmental Psychology. 2022. Vol. 81. Art. 101782. DOI: 10.1016/j.jenvp.2022.101782.

2. Rickinson M. Learners and learning in environmental education: a critical review of the evidence // Environmental Education Research. 2021. Vol. 7, No. 3. P. 207-320. DOI: 10.1080/13504620120065230.

3. Hungerford H. R., Volk T. L. Changing learner behavior through environmental education // Journal of Environmental Education. 2000. Vol. 21, No. 3. P. 8-21.

4. Kratky B. A. Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce // Acta Horticulturae. 2021. No. 843. P. 65-72. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.843.6.

5. Kabylbek K., Childibayev J. B. Methodology of Action Research in Improving the Environmental Functional Literacy of High School Students // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. 2023. Vol. 404, No. 4. P. 179-196. DOI: 10.32014/2023.2518-1467.544.

6. Hines J. M., Hungerford H. R., Tomera A. N. Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis // Journal of Environmental Education. 2024. Vol. 18, No. 2. P. 1-8. DOI: 10.1080/00958964.1987.9943482.

7. Bamberg S., Möser G. Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour // Journal of Environmental Psychology. 2021. Vol. 27, No. 1. P. 14-25. DOI: 10.1016/j.jenvp.2021.12.002.

8. Kollmuss A., Agyeman J. Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? // Environmental Education Research. 2022. Vol. 8, No. 3. P. 239-260. DOI: 10.1080/13504620220145401.

9. Stern P. C. Toward a coherent theory of environmentally significant behavior // Journal of Social Issues. 2020. Vol. 56, No. 3. P. 407-424. DOI: 10.1111/0022-4537.00175.

10. Marcinkowski T., Reid A. Reviews of research on the attitude–behavior relationship and their implications for future environmental education research // Environmental Education Research. 2019. Vol. 25, No. 4. P. 459-471. DOI: 10.1080/13504622.2019.1634237.

11. Choi H., Kim H., Yu H. Development of a STEAM Program on Growing Plants through Hydroponics // Biology Education. 2023. Vol. 51, No. 3. P. 399-415. DOI: 10.15717/bioedu.2023.51.3.399.

12. Kwok S. W. H., Wu C. S. T., Tong H. T., Ho C. N., Leung K. L., Leung Y. C. P., Lui K. C., Wong C. K. Effects of the School-Based Integrated Health Promotion Program With Hydroponic Planting on Green Space Use and Satisfaction, Dietary Habits, and Mental Health in Early Adolescent Students: A Feasibility Quasi-Experiment // Frontiers in Public Health. 2021. Vol. 9. Art. 740102. DOI: 10.3389/fpubh.2021.740102.

13. Almerino J., Peria J. N. Enhancing Biology Education through Hydroponics: A Practical Approach in High School Classes // The QUEST: Journal of Multidisciplinary Research and Development. 2024. Vol. 3, No. 1. DOI: 10.60008/thequest.v3i1.190.

14. Anis M. B., Azizah N., Rukayah. The Impact of Experimental Methods Using Hydroponic Techniques on Student Learning Outcomes in Primary School Science Education // Indonesian Science Education Journal. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 16-26. DOI: 10.62159/isej.v5i1.88.

15. Mohamed M., Ahmad Sobri S., Guan T. T., Hambali K. Students' knowledge in science: an evaluation via hydroponic kit // Pertanika Journal of Social Sciences and Humanities. 2022. Vol. 30, No. 4. DOI: 10.47836/pjssh.30.4.16.

16. Patchen A. K., Zhang L., Barnett M. Growing plants and scientists: Fostering positive attitudes toward science among all participants in an afterschool hydroponics program // Journal of Science Education and Technology. 2017. Vol. 26, No. 3. P. 222-237. DOI: 10.1007/s10956-016-9678-5.

17. Papadopoulou E. A., Tsiantos V., Hatzikraniotis E., Karampatzakis D., Maragakis M. Combining Hydroponics and Three-Dimensional Printing to Foster 21st Century Skills in Elementary Students // Sustainability. 2025. Vol. 17, No. 7. Art. 2876. DOI: 10.3390/su17072876.

18. Lino L. C., Gonçalves S. C. P., Sies E. A. B., Mello M. C., Victório C. P. Horticultura hidropônica de alface como recurso pedagógico extraclasse // Revista Brasileira de Educação Ambiental (Revbea). 2025. Vol. 20, No. 1. P. 144-157.

19. Snyder L. U. Students' experiential learning of hydroponics and local markets on the island of Roatán, Honduras // Journal of International Agricultural and Extension Education. 2022. Vol. 19, No. 1. P. 54-63. DOI: 10.5191/jiaee.2012.19107.

20. Suryani E., Putra L. V., Muf'afidah N. M., Hidayah C. Analysis of the Hydroponics Program in Instilling an Environmental Care Attitude for Elementary School Students // Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: e-Saintika. 2020. Vol. 4, No. 3. DOI: 10.36312/e-saintika.v4i3.273.

21. Barbosa G. L., Gadelha F. D. A., Kublik N., Proctor A., Reichelm L., Weissinger E., Wohlleb G. M., Halden R. U. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2025. Vol. 12, No. 6. P. 6879-6891. DOI: 10.3390/ijerph120606879.

22. Banboukian A., Chen Y., Thomas V. M. The challenges of controlled environment hydroponic farming: a life cycle assessment of lettuce // International Journal of Life Cycle Assessment. 2025. Vol. 30, No. 7. P. 1691-1704. DOI: 10.1007/s11367-025-02463-6.

23. Wimmerova L., Keken Z., Solcova O., Bartos L., Spacilova M. A Comparative LCA of Aeroponic, Hydroponic, and Soil Cultivations of Bioactive Substance Producing Plants // Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 4. Art. 2421. DOI: 10.3390/su14042421.

24. Nadeem A., Tariq M. A. U. R., Sarwar K., Iqbal M., Ahmad K., Ahmed K. Assessing the environmental impacts of reclaimed and conventional water in hydroponics based on a life cycle assessment approach // Water Supply. 2024. Vol. 24, No. 8. P. 2765-2780. DOI: 10.2166/ws.2024.160.

25. Kokotsaki D., Menzies V., Wiggins A. Project-based learning: A review of the literature // Improving Schools. 2022. Vol. 19, No. 3. P. 267–277. DOI: 10.1177/1365480216659733.

26. Pertiwi T. U., Oetomo D., Sugiharto B. The Effectiveness of STEM Project-Based Learning in Improving Students' Environmental Literacy Abilities // JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia). 2024. Vol. 10, No. 2. P. 476-485. DOI: 10.22219/jpbi.v10i2.33562.

27. Sancho Avalos E. W., Villacorta Castro G. J., Santa Cruz Terán F. F., Leyva Aguilar N. A., Pérez Lara C. M. Project-Based Learning Strategy Enhancing the Environmental Awareness of the Centennials Generation: A Systematic Review // Eurasian Journal of Educational Research. 2023. No. 107. P. 126-139.

28. Utaminingsih E. S., Wuriningsih F. R., Idammatussilmi. Strengthening Environmental Awareness through Project-Based Learning: A Global and National Review, and Implications for Indonesian Primary Schools // Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan. 2026. Vol. 11, No. 1. DOI: 10.29303/jipp.v11i1.4736.

29. Perrault E. K., Albert C. A. Utilizing project-based learning to increase sustainability attitudes among students // Applied Environmental Education & Communication. 2018. Vol. 17. P. 96-105.

30. Kabylbek K., DeChano-Cook L. M., Childibaeva D., Balta N. Determining High School Students' Functional Environmental Literacy and the Effect of Participatory Action Research on Functional Environmental Literacy // Environmental Education Research. 2025. Vol. 31, No. 6. P. 1207-1223. DOI: 10.1080/13504622.2024.2437572.