

АҚПАРАТТЫҚ ЖӘНЕ КОММУНИКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР
ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIESDOI 10.51885/1561-4212_2023_3_8
MPHTI 20.23.27**Н.М. Жунисов¹, Г.Н. Казбекова²**Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан қ., Қазақстан¹E-mail: nurseit.zhunissova@ayu.edu.kz*²E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz**ЖЕРАСТЫ СУЛАРЫНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН МОДЕЛЬДЕУ ҮШІН ГЕОАҚПАРАТТЫҚ
ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ МҮМКІНДІКТЕРІН ҚОЛДАНУ****ПРИМЕНЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД****USING OF THE CAPABILITIES OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES
FOR MODELING THE MOVEMENT OF GROUNDWATER**

Аңдатпа. Мақалада геоақпараттық жүйелердің қазіргі жай-күйіне қысқаша талдау жасалды және жаңа ақпараттық технологиялар (бұлтты және зияткерлік жүйелер, үлкен деректерді өңдеу әдістері) негізінде оларды дамытудың перспективалық бағыттары қарастырылды.

Геоақпараттық жүйе – технологиясы сараланып, моделін құруға қажетті мәселелері қарастырылды. Геоинформатиканың региональды (аймақтық) ақпараттық жүйелерін құру жолдары талданып, зерттелді. Жерасты суларының деңгейін анықтауға компьютерлік – математикалық модель құрылды. Аумақты ауыз сумен қамтуды геоақпараттық жүйесі автоматтандырылған түрде ұсынылды. Мәліметтер қорын басқару жүйесі мен объектілі бағытталған бағдарламалау ортасында құрылған кешен ауыз су мәселесін шешуге көмектеседі.

Түйін сөздер: геоақпараттық жүйе (ГАЗ), жерасты су, анизотропты орта, ұңғы.

Аннотация. В статье проведен краткий анализ современного состояния геоинформационных систем и рассмотрены перспективные направления их развития на основе новых информационных технологий (облачные и интеллектуальные системы, методы обработки больших данных).

Рассматриваются ГИС-технологии и необходимые свойства для моделирования. Исследование задачи создания региональных информационных систем геоинформатики. Создана компьютерно-математическая модель для определения уровня подземных вод. Предложено автоматизированное геоинформационная система обеспечения питьевой водой регион. Созданный комплекс систем управления базой данных и объективного программирование, могут быть применен в решении проблем питьевой воды.

Ключевые слова: геоинформационные системы (ГИС), подземная вода, анизотропная среда, скважина.

Abstract. The article provides a brief analysis of the current state of geoinformation systems and discusses promising areas of their development based on new information technologies (cloud and intelligent systems, methods of processing big data).

It was studied the possibility of geoinformation system (GIS) technology and the necessary properties for the modelling. It was examined the goals of creating the regional information systems of geoinformatics. It was created a computer-mathematical model to determine the level of groundwater. It was suggested the

geoinformation system of provision with drinking water of region in an automated form. Complex, which created between the database management system and objective programming, helps to solve the problem of drinking water.

Keywords: *geoinformation systems (GIS), underground water, anisotropic medium, well.*

Kipicne. Қазіргі уақытта геоинформатика ғылым ретінде қарқынды дамып келе жатқан екі саланың бірігуін айтуымызға болады: информатика және жер туралы ғылым. Бүгінгі таңда осы саладағы зерттеулер мемлекеттің, өнеркәсіптің және ғылыми-зерттеу ұйымдарының назарын көбірек аударатын географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЖ) арқылы жүзеге асырылатын жерді бақылау деректерінің үлкен көлемін есептеу математикасы мен компьютерлік өңдеудің барлық жаңа әдістерін қолданады. Бұл жұмыста авторлар білімнің осы қарқынды дамып келе жатқан саласында толықтығын талап етпей, геоақпараттық жүйелердің жай-күйін талдауға тырысады, өз зерттеулерінің нәтижелеріне және оларды нақты міндеттерді шешу үшін қолданудың көп жылдық тәжірибесіне сүйене отырып, олардың дамуының перспективалық бағыттарын қарастырады. Әдебиеттерде ГАЖ-ның көптеген анықтамаларын кездестіріп, айтуымызға болады. Олар:

Геоақпараттық жүйе (ГАЖ) – кеңістіктік деректерді қалыптастыру, жүктеу, сақтау, визуализациялау және талдау үшін қолданылатын компьютерлік жүйе [1];

ГАЖ – кеңістіктік немесе географиялық координаттармен жұмыс істеуге арналған ақпараттық жүйе [2];

ГАЖ – кеңістікте карта құру кезінде кездесетін нүктелер, сызықтар және көпбұрыштар сияқты кеңістіктік объектілерді манипуляциялауға арналған ГАЖ жүйесі, оларды кейіннен талдау мақсатында арнайы сұраулар арқылы деректерді шығарады [3];

ГАЖ – бұл бес негізгі элементтен тұратын жүйе: деректер, аппараттық құралдар, бағдарламалық жасақтама, процедуралар және оларды қолданатын адамдар [4];

ГАЖ – географиялық ақпараттық сервис болып табылатын бағдарламалық-аппараттық кешендер [5];

ГАЖ – кеңістіктік кодталған деректерді жинауды, сақтауды, өңдеуді, қол жеткізуді, көрсетуді және таратуды қамтамасыз ететін ақпараттық жүйе [6].

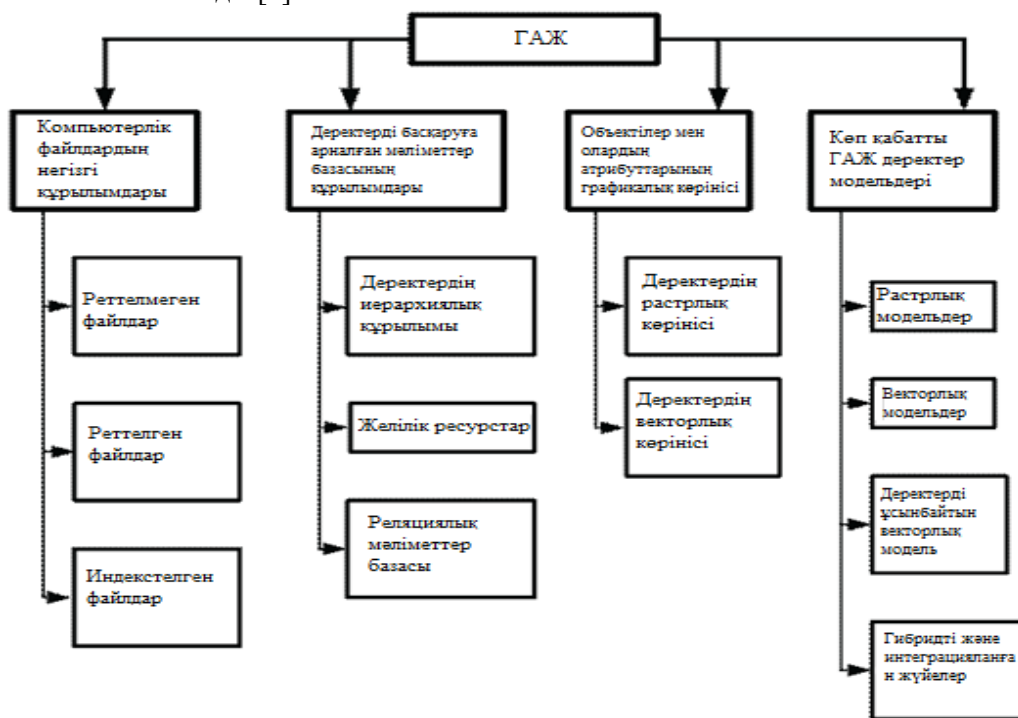
Егер біз осы анықтамаларды талдайтын болсақ, онда ГАЖ-ны кеңістіктік ақпаратты жинауды, сақтауды және талдауды қамтамасыз ететін ақпараттық жүйе ретінде сипаттауға болады.

ГАЖ құрылымы әдетте ақпараттық қабаттар жиынтығы ретінде ұсынылады. Қабаттар белгілі бір аумақтағы және қабаттар жиынтығына ортақ координаттар жүйесіндегі бір тақырыпқа немесе объектілер класына жататын бірдей типтегі кеңістіктік объектілердің жиынтығы. ГАЖ-дағы деректердің геоақпараттық құрылымы 1-суретте көрсетілген.

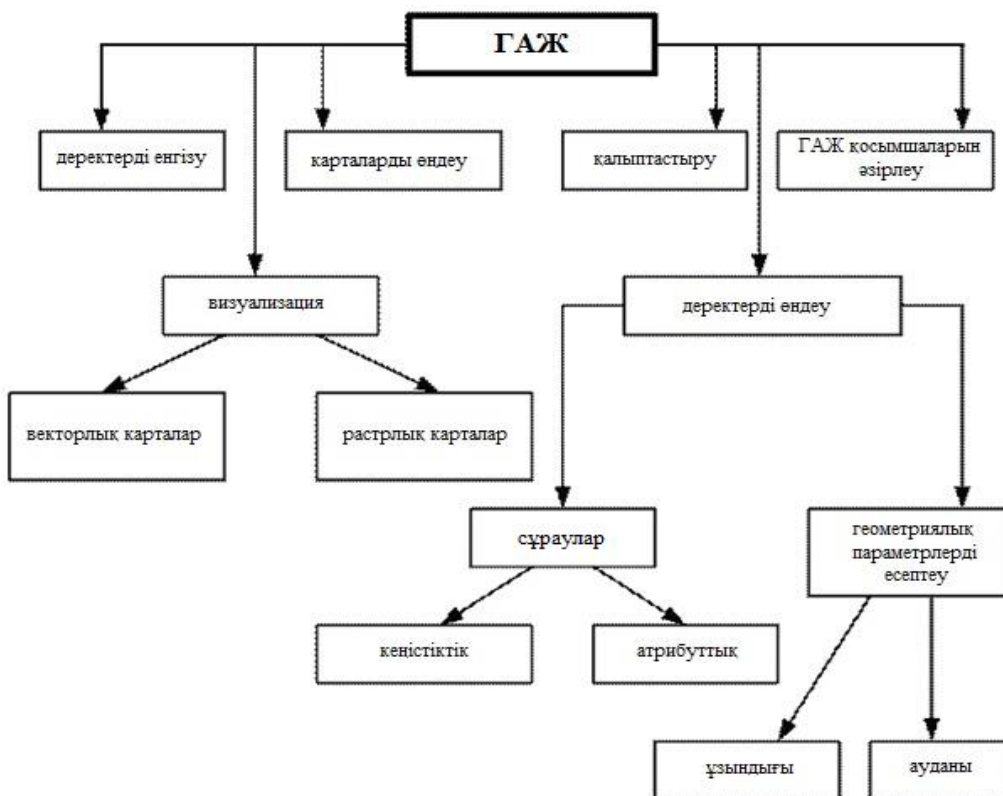
Кез келген ГАЖ-ның негізі автоматтандырылған карта жүйесі болып табылады. Ол ақпаратты енгізу, өңдеу және шығару ішкі жүйелері сияқты бірқатар ішкі жүйелерден тұратын карталарды құруды және пайдалануды қамтамасыз ететін құралдар мен бағдарламалық құралдар жиынтығы. ГАЖ функциялары 2-суретте көрсетілген.

ГАЖ даму тарихы 50 жылдан бастап орын алып келеді. Оларды құрудың алғашқы әрекеттері АҚШ 1960 жылдардан басталады. Р. Томлинсон (R.F. Tomlinson) 1968 жылы ауылшаруашылық агенттігі (CGIS) үшін алғашқы канадалық географиялық ақпараттық жүйесін жасады. Ұлыбританияда 1963 жылдан бастап автоматтандырылған карта жүйелерін құруға әрекет жасалды. АҚШ-та ГАЖ әдістемелік мәселелерінің негізгі әзірлеушісі Гарвард компьютерлік графика зертханасы болды, оның нәтижелері өнеркәсіптік ГАЖ құруға негіз болды. Осы негізде 1964 ж бірінші сумар жүйесі құрылды, оның авторлары кейіннен қазір танымал ESRI және Intergraph фирмаларын басқарды. 1963 жылы Швецияда жерді пайдалану мәселелерін шешуге бағытталған Upsala округіне

арналған ГАЖ жасалды [7].



1-сурет. ГАЖ-дағы деректердің геоақпараттық құрылым схемасы [7]

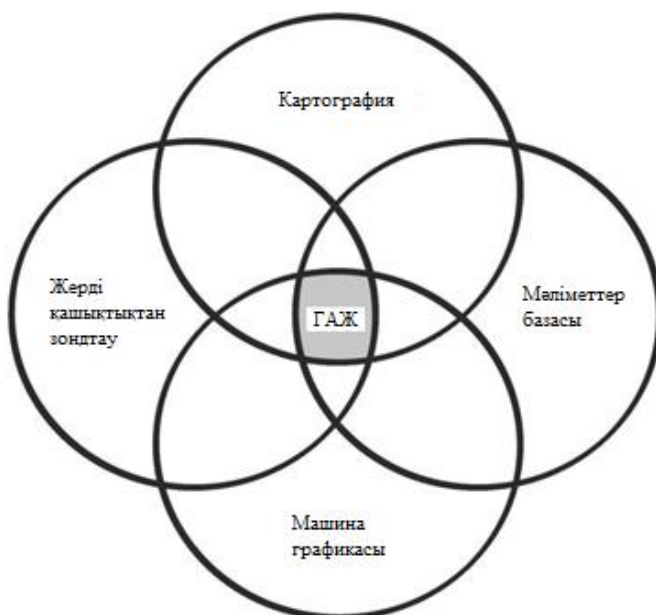


2-сурет. ГАЖ функциялары [7]

1980 жылдардың аяғы 1981 жылдардың басына таяу АҚШ-та табиғатты қорғау мәселелерін шешуге бағытталған қолданбалы геоақпараттық жүйелері пайда бола бастады. Табиғатты қорғауға арналған электронды карталар ГАЖ деп аталатын жұмыстары жүрді, сондай-ақ ГАЖ технологияларын пайдалана отырып, аэро және ғарыштық түсірілімдер іске аса бастады және ормандарды картаға түсіру жұмыстарын жүргізді.

1990 жылдардың басында АҚШ-та бүкіл ел бойынша ГАЖ жүйесін құру бойынша кешенді жұмыстар басталды [7]. Геоақпараттық технологиялардың қарқынды дамуына қарамастан, алғашқы жалпыға қолжетімді толық функционалды ГАЖ дербес компьютерлер нарығына шыққаннан кейін ғана пайда болды, бұл ең алдымен ArcView негізгі өнімін шығарған ESRI [8] фирмасының жұмысы болды. Дәл осы сәттен бастап ГАЖ әртүрлі қолданбалы салалардағы мәселелерді шешуге арналған жаппай бағдарламалық-ақпараттық кешендер ретінде дами бастады.

Өзінің дамуының алғашқы кезеңдерінде ГАЖ Ақпараттық технологиялар саласындағы өзгерістерге тез жауап беретін және әртүрлі кеңістіктік ақпаратты өңдеу бойынша көптеген мәселелерді шешуге бағытталған кейбір интеграцияланған бағдарламалық кешендер ретінде қалыптасты (3-сурет).

**3-сурет.** ГАЖ әзірлеу үшін негізгі компоненттер [8]

Геоақпараттық жүйелердің (ГАЖ) қолдану аясы барлық салаларда айтарлықтай кеңеюде. Олардың ішінде гидрологиялық модельдермен қатар гидрологиялық процестерді зерттеудің негізгі құралына айналған геоақпараттық технологиялар ерекше орын алады. Гидрологияда ГАЖ технологияларын кеңінен енгізу гидрологиялық мәселелердің көпшілігінің кеңістіктік сипатқа ие болуымен байланысты. ГАЖ гидрологиялық қосымшаларының ауқымы өте кең және кеңістіктік деректерді алу мен өңдеуді, модельдеуді, болжауды және шешім қабылдауды қолдауды қамтиды. ГАЖ технологияларын енгізу гидрологиялық процестердің кеңістіктік-үлестірілген сипаттамасына көшуге, ағынды қалыптастырудың үлестірілген модельдерін дамытуға ықпал етті. Заманауи гидрологиялық модельдердің жұмыс істеуі ГАЖ қамтамасыз етусіз мүмкін емес, ал ГАЖ-ның негізгі рөлі модельдеудің

бірінші кезеңінде жүзеге асырылады.

Бірқатар шет елдерде гидрологиялық ғылым мен практикаға ГАЖ технологияларын белсенді енгізу процесі 90-шы жылдардың бірінші жартысында басталды. Атап айтқанда, 1998 жылы гидрологияда ГАЖ қолдану мүмкіндіктеріне арналған «Hydrological Processes» журналының арнайы саны жарық көрді (Gurnell & Montgomery, 1998). 2000 жылдардың басында ГАЖ-ны бірқатар негізгі гидрологиялық мәселелерді шешу үшін, модельдеу үшін деректерді дайындау процесінде, сондай-ақ су ресурстарын басқаруда қолдану стандартқа айналды. Кейінгі жылдары ГАЖ қолдану мүмкіндіктері пайдаланушылардың кең ауқымына қолжетімді болды, ал бірқатар гидрологиялық модельдеу құралдары еркін таратылатын ГАЖ қосымшаларында жүзеге асырылды [9].

Сондай-ақ, ГАЖ технологиялары негізінде ұлттық және өңірлік деңгейдегі су тасқыны мен су тасқынын болжаудың заманауи жүйелері жұмыс істейді.

Бұл жұмыста қаралатын геоақпараттық жүйелер қала тұрғындарын ауыз сумен қамтамасыз етуді автоматтандыруға септігін тигізеді. Геоинформатиканың регионалды ақпараттық жүйелер құру мүмкіндіктеріне шолу жасалып, жерасты сулары деңгейін анықтауға компьютерлік математикалық модель ұсынылады, ГАЖ – технологиялары негізінде қолданатын бағдарламалық пакет құрылған.

Геоақпараттық жүйенің атрибутивтік ақпараттарының мәліметтер базасын жобалау мен жүргізу, мәліметтер базасын басқару жүйелерінің қызметін қолдау, оның ішіне сұраныстарды сақтау, өңдеу, ендіру, іздеу, тандау, сұрыптау, жаңарту, тұтастығын сақтау, мәліметтерді қорғау мен мәліметтер базасындағы негізі модельдер шеңберіндегі метамәліметтер базасын құру, мәліметтер базасын қолдана модельдеу арқылы жүзеге асырады [10,11].

Жерасты суларының қозғалысын сиппатаушы модель. Құрылымы мен геометриясына тәуелді уақ кеуек кеңістікті біртекті және біртексіз, изотропты және анизотропты орта деп бөледі. Әр түрлі бағыт бойынша геометриялық және физикалық қасиеттері бірдей емес болуын анизотроптық деп аталатыны белгілі. Анизотропты уақ кеуек ортадағы сұйықтық қозғалысы Дарси заңымен анықталады [12].

$$\begin{aligned} v_x &= -\frac{1}{\mu} \left(k_{xx} \frac{\partial p}{\partial x} + k_{xy} \frac{\partial p}{\partial x} + k_{xz} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \\ v_y &= -\frac{1}{\mu} \left(k_{yx} \frac{\partial p}{\partial y} + k_{yy} \frac{\partial p}{\partial y} + k_{yz} \frac{\partial p}{\partial y} \right) \\ v_z &= -\frac{1}{\mu} \left(k_{zx} \frac{\partial p}{\partial z} + k_{zy} \frac{\partial p}{\partial z} + k_{zz} \frac{\partial p}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad k_{ij} (i = x, y, z, j = (x, y, z)) \quad (1)$$

$\frac{\partial p}{\partial x_i}$ – қысым градиенті, k_{ij} – өткізгіштік коэффициентінің матрицасы деп аталатын

симметриялы матрица компоненттері (құраушылары). Бұл матрица анизотропты, изотропты уақ кеуек ортаның сүзгілеу қасиеттерін анықтайды. Өткізгіштік коэффициенттерінің матрицалық түрі анизотропияға және координат жүйесіне тәуелді. Дарси заңын ықшамдау үшін координат жүйесін $Oxuz$ алуға болады:

$$v_x = -\frac{k_x}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v_y = -\frac{k_y}{\mu} \frac{\partial P}{\partial y}, \quad v_z = -\frac{k_z}{\mu} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2)$$

мұндағы k, μ – өткізгіштік және жабысқақтық коэффициенті.

(1) қатынастың матрицалық түрі төмендегідей:

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{\partial p}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (3)$$

(3) қатынасты ықшам түрде жазуға болады

$$v_i = -\frac{1}{\mu} k_{ij} \frac{\partial p}{\partial x_j}, \quad i = x, y, z; \quad j = x, y, z. \quad (4)$$

Координат жүйесі өткізгіштік коэффициенті матрицасы диагональдық түрде болса және Дарси заңы (2) түрде жазылса, бас координат жүйесі болады. Ал k_i – өткізгіштік коэффициенттерінің диагональдық мәндері – өткізгіштік тензорының бас мәндері.

Анизотроптық сүзгілеу қасиеттерінің матрицалық түрі төмендегідей

$$k_{ij} = \begin{pmatrix} k_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & k_{xx} & 0 \\ 0 & 0 & k_{zz} \end{pmatrix}, \quad k_{ij} = \begin{pmatrix} k_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & k_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & k_{zz} \end{pmatrix}, \quad k_{ij} = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} & 0 \\ k_{xy} & k_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & k_{zz} \end{pmatrix}, \quad k_{ij} = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{xz} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{yz} \\ k_{zx} & k_{zy} & k_{zz} \end{pmatrix} \quad (5)$$

(5)-өрнектегі бірінші матрица изотропты сүзгілеу қасиеттері бар ортаны береді және трансверсалды изотропты деп аталады.

Анизотропты ортадағы жылдамдықтың өзгеру түрлерін (1)-(4) көрсетілгендей қарастыруға болады. Ал анизотропты орта үшін өткізгіштіктің сүзгілеу жылдамдығының бағытына тәуелділігіне байланысты болады.

Соңғы кездері ұңғыларды зерттеу және кәсіптік бақылауда сұйықты зерттеу кезінде қабаттың сүзгіштік қасиетін және тау жыныстарының кернеулі-деформациялық күйін анықтау қажеттілігі туындауда. Ауыз су қорын зерттеу нәтижелері бойынша деформацияланған қабаттардағы сүзгіштік процестерін теориялық зерттеу экономикалық жағынан тиімді болады.

Өзгеруші қабаттардағы сүзгіштік процестерді зерттеуге арналған әдебиеттерге шолу жасап көрсеткендей, қазіргі заманғы сүзгілену теориясындағы трансверсальды-изотропты саңылаулы уақ кеуек ортадағы өзгеруді есепке алу әлі де өзінің қажетті негізделуін таппады. Сонымен бірге, өзгеруші ортадағы сұйықты стационарлы және стационарлы емес кеңістіктік сүзгіленуге қатысты жерасты су қорын дайындауға айтарлықтай ықпал ететін өткізгіш қабаттың коэффициентінің айнымалығын есепке алумен теориялық ережелерді одан әрі дамытуды талап етеді [13].

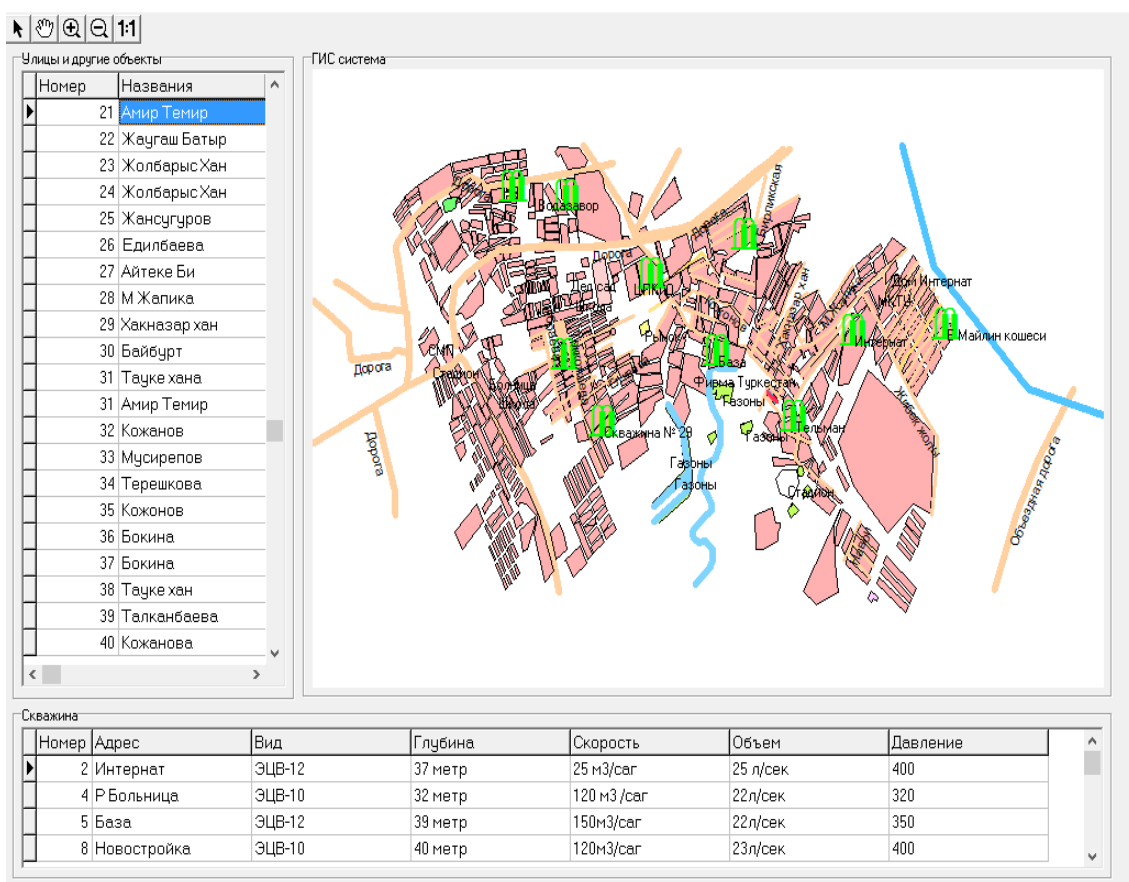
Сандық модельдеу сүзгілену есебін шекаралық шарттар, негізінде шекті элементтер әдісі көмегімен жүзеге асады. Бұл есептің аналитикалық шешімін алу қиындықтар туғызады. Ал сандық шешім алу барысында қарастырылып отырған есептеу облысының нақты табиғи қасиеттерін соның ішінде жер асты суларының өткізгіштігі, ортаның уақ кеуектілігі, су ұңғыларының тереңдігі ескеріледі.

Есептелінетін облысты шекті элементтер арқылы моделдегенде қабырғаларының ұзындықтары түрліше болатын үшбұрышты элементтермен сипаттау қолайлы. Анизотропты

ортадағы ұңғыларға сұйықтықтың сүзгіленуі кезінде қысым және дебитті жалпылама жазық сүзгілену жағдайда моделденеді. Сондықтан қолданылған шекті элементтерді пайдалануға негізделген жеке элементтің және бүкіл жүйенің қатаңдық матрицаларын жазық және жалпылама жазық есепке дамытылып қолданылған алгоритм қолданылады [14,15].

Бағдарламалық кешеннің сипаттамасы. Жалпы жұмыс зерттеу барысында таңдалынып алынған интерфейс бөлігі Объектіге бағытталған бағдарламалау ортасы және Mapinfo бағдарламасы таңдалынып алынды. Бағдарламадағы мәліметтер Түркістан қалалық «Түркістан су каналы» мекемесінің мәліметтер талдана отырып, қажетті мәліметтер алынды.

Негізінен жұмыста Геоақпараттық жүйесін құру арқылы мәзір қатары арқылы жасалынды. Мәзір қатарында есептің берілгені, есептің нәтижесі, мәліметтер енгізу және анықтама сияқты мәзір қатарлары жасалынды. Бағдарламалық кешенде Түркістан қаласының ГАЗ құрылып, көшелері және басқа да объектілер, жер асты суының ұңғымаларының мәліметтері көрсетіліп, есептелді (4-сурет).

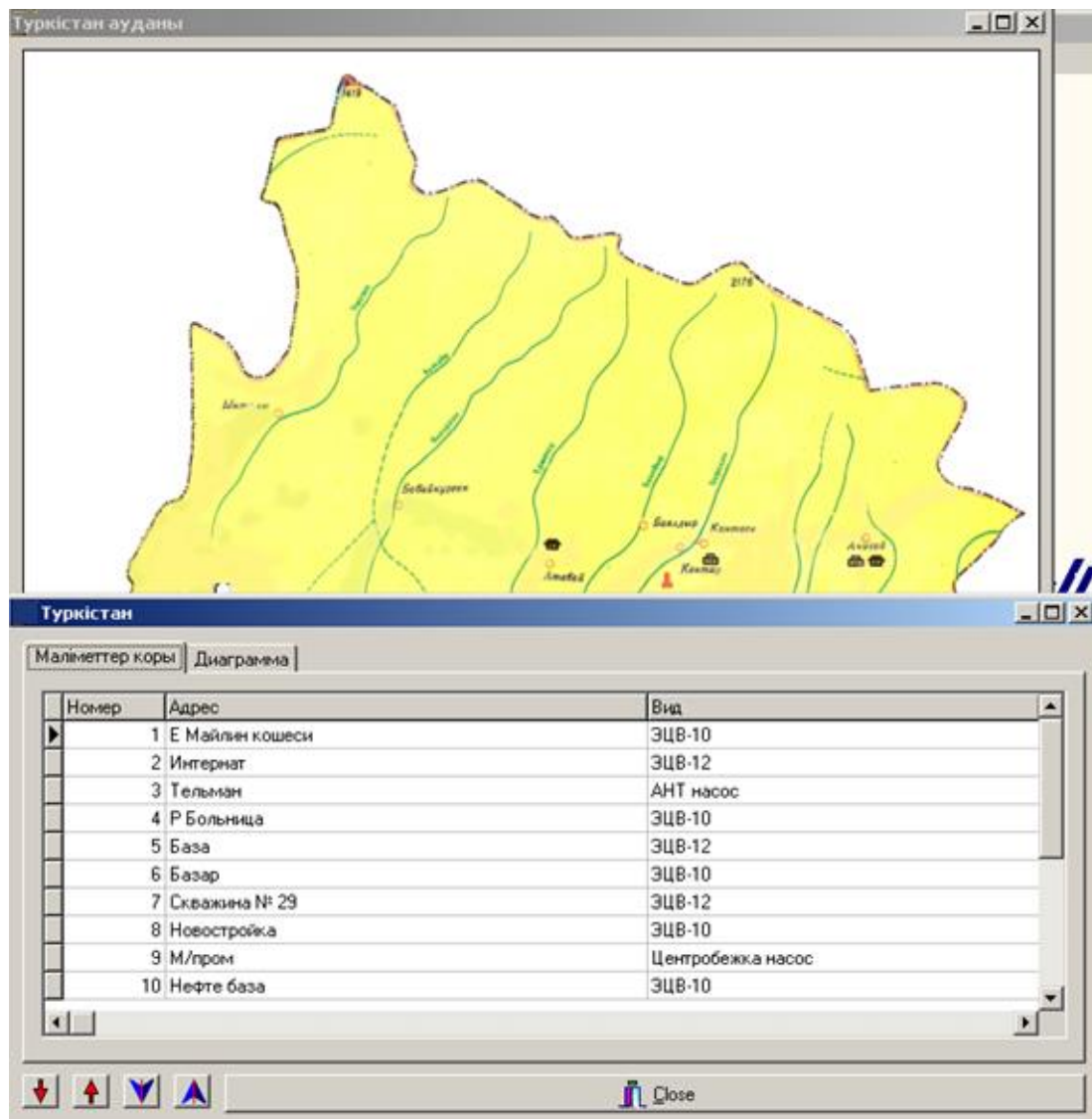


4-сурет. ГАЗ-технологиялық көрінісі

Бұл 4-суретте ГАЗ-дың көмегімен кез келген ұңғыларды және де көшелердің қай жерде орналасқанын Түркістан картасының кез келген жерінен тез тауып алуға мүмкіндік береді.

Түркістан қаласының ұңғылары, олардың мекенжайы, тереңдігі және су шығару жылдамдығы мәліметтері көрсетілген.

Мәліметтерді енгізу бөлігінде, яғни «Түркістан су канал» мекемесіне қатысты мәліметтер енгізіледі. Абоненттер, қаланың «Түркістан су каналы» арқылы су тұтынатын көшелердің аты, әр көшеге жауап беретін контроллерлер, әр үйде тұратын адам саны, бау-бақша көлемі және т.б. мәліметтерді енгізіп, өңделініп сақталынады. Құрылған математикалық модель арқылы жерасты суының деңгейін Түркістан ауданы бойынша анықтауға болады оның нәтижесі 5-суретте келтірілген.



5-сурет. Түркістан аудандық ГАЖ

ГАЖ-дың көмегімен кез келген су ұңғысының орналасу координатасын, ол туралы толық мәлімет келтіріледі. Түркістан қаласы бойынша төменде 1-кестеде көрсетілгендей су шығаратын ұңғылар мәліметін көруге болады. Түркістан қаласының картасынан кез-келген жерінен тез тауып алуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, Түркістан ауданының геологиялық-гидрогеологиялық жағдайлары, аудан өзендерінің су көлемдері, деңгейі көрсетіледі.

1-кесте. Түркістан қаласындағы су шығаратын ұңғылар жайлы мәлімет

Ұңғы N	Адрес	Насос түрі	Тереңдігі	Су шығару жылдамдығы	Су мөлшері
1	Б. Майлин көш.	ЭЦВ-10	32 м	120 м ³ /сағ	22 л/сек
2	Интернат	ЭЦВ-12	37 м	120 м ³ /сағ	25 л/сек
3	Тельман	АНТ насос		140 м ³ /сағ	
4	Р/больница	ЭЦВ-10	32 м	120 м ³ /сағ	22 л/сек
5	База	ЭЦВ-12	39 м	150 м ³ /сағ	28 л/сек
6	Базар	ЭЦВ-10	25 м	120 м ³ /сағ	25 л/сек
7	Ұңғы 29	ЭЦВ-12	28 м	150 м ³ /сағ	28 л/сек
8	Н/стройка	ЭЦВ-10	40 м	120 м ³ /сағ	23 л/сек
9	М/пром	Центрабежка насос	30 м	100 м ³ /сағ	20 л/сек
10	Н/база	ЭЦВ-10	35 м	120 м ³ /сағ	23 л/сек

Қорытынды. Қорыта келе, геоақпараттық жүйелердің аймақтық моделдерін құрудың өзекті мәселелері қарастырылды.

Құрылған компьютерлік модел геоақпараттық жүйе – технологиясына негізделген. Трансверсалды – изотропты ортада түрлі бағытталған су алушы ұңғының орналасуына алынатын су көлемін арттыру жағдайлары қарастырылды. Түркістан қаласы ауыз сумен қамтуды геоақпараттық жүйесі автоматтандырылған түрде ұсынылды. Мәліметтер қорын басқару жүйесі мен объектілі бағытталған бағдарламалау ортасында құрылған кешен Түркістан қаласының картасымен байланыстырылды.

Әдебиеттер тізімі

- Hanks, R.R. Encyclopedia of geography terms, themes, and concepts. Santa Barbara, California: ABC-CLIO, 2011. 405 p.
- Star, J., Estes, J. Geographic information systems: Englewood Cliffs. An introduction. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 303 p.
- Duecker, K.J. Geographic information systems and computer-aided mapping // Journal of the American Planning Association. – 1987. – Vol. 53. – P. 383-390.
- Dangermond, J. Introduction and overview of GIS // Paper presented at Geographic Information Systems Seminar: Data sharing – Myth or reality. Ontario: Ministry of Natural Resources, 1988. P. 128–145.
- Shekar, S., Hiong, H. Enciclopedia of GIS. – New York: Springer, 2008. 1370 p.
- Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
- Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. Geographic Information Systems and Science. New York: John Wiley & Sons, 1999. – 432 p.
- Korte, G. The GIS Book. 5th Updated edition. – New York: OnWord Press, 2000. – 645 p.
- Пьянков С.В. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений: монография / С.В. Пьянков, А.Н. Шихов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – 148 с.
- Капралов Е.Г., Кошкарев А. В., Тикунов В.С. и др.]; Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В.С.Тикунова. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.

11. Капралов Е.Г., Кошкарёв А. В., Тикуннов В.С. и др.];Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 2: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В.С.Тикуннова. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
12. Darcy, H. Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon: Exposition et Application des Principes a Suivre et des Formules a Employer dans les Questions de Distribution d'Eau. Paris. (1856) In: Dalmont, V., Ed., 647 p.
13. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. – М.: «Златоус», 2000. – 224 с.
14. R.M. Teeuw, "Groundwater Exploration Using Remote Sensing and a Low-Cost Geographical Information System," Hydrogeology Journal, Vol. 3, No. 3, 1995, pp. 21-30.
15. Nezar Hammouri, Ali El-Naqa, Mohammed Barakat, "An Integrated Approach to Groundwater Exploration Using Remote Sensing and Geographic Information System", Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 717-724.

References

1. Hanks, R.R. Encyclopedia of geography terms, themes, and concepts. Santa Barbara, California: ABC-CLIO, 2011. – 405 p.
 2. Star, J., Estes, J. Geographic information systems: Englewood Cliffs. An introduction. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. – 303 p.
 3. Duecker, K.J. Geographic information systems and computer-aided mapping // Journal of the American Planning Association. 1987. Vol. 53. – P. 383-390.
 4. Dangermond, J. Introduction and overview of GIS // Paper presented at Geographic Information Systems Seminar: Data sharing – Myth or reality. Ontario: Ministry of Natural Resources, 1988. P. 128–145.
 5. Shekar, S., Hiong, H. Enciclopedia of GIS. – New York: Springer, 2008. – 1370 p.
 6. Baranov YU.B., Berlyant A.M., Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Serapinas B.B., Filippov YU.A. Геоинформатика. Толковий словар' osnovnyh terminov. – М.: GIS-Associaciya, 1999. 204 s.
 7. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. Geographic Information Systems and Science. New York: John Wiley & Sons, 1999. 432 p.
 8. Korte, G. The GIS Book. 5th Updated edition. – New York: OnWord Press, 2000. 645 p.
 9. P'yankov S.V. Геоинформационное обеспечение моделирования гидрологических процессов и явлений: монография / S.V. P'yankov, A.N. SHihov; Perm. gos. nac. issled. un-t. – Perm', 2017. – 148 s.
 10. Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. i dr.];Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 1: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. V.S. Tikunova. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
 11. Kapralov E.G., Koshkarev A.V., Tikunov V.S. i dr.];Геоинформатика: в 2 кн. Кн. 2: учебник для студ. высш. учеб. заведений / под ред. V.S. Tikunova. – 2-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 384 с.
 12. Darcy, H. Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon: Exposition et Application des Principes a Suivre et des Formules a Employer dans les Questions de Distribution d'Eau. Paris. (1856) In: Dalmont, V., Ed., 647 p.
 13. Бугаевский Л.М., Цветков В.Я. Геоинформационные системы. – М.: «Златоус», 2000-224 с
 14. R.M. Teeuw, "Groundwater Exploration Using Remote Sensing and a Low-Cost Geographical Information System," Hydrogeology Journal. – Vol. 3. – No. 3, 1995. – Pp. 21-30.
 15. Nezar Hammouri, Ali El-Naqa, Mohammed Barakat, "An Integrated Approach to Groundwater Exploration Using Remote Sensing and Geographic Information System", Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 717-724.
-
-