Кыргыз Республикасынын Билим берүү жана илим министрлиги

И.Раззаков атындагы Кыргыз Мамлекеттик техникалык университети

Б.Ельцин атындагы Кыргыз-Россиялык Славян университети

Диссертациялык кеңеш Д 01.22.652

Кол жазма укугунда

УДК 532. 546 + 518.5

Маданбекова Эльмира Эсенбековна

КӨП КАТМАРЛУУ ЖЕР КЫРТЫШЫНДАГЫ СУУЛАРДЫН ДЕҢГЭЭЛИН ОПТИМАЛДУУ БАШКАРУУ

Адистиги 01.02.05 – Суюктуктун, газдын жана плазманын механикасы

Физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын алууга арналган диссертациянын

АВТОРЕФЕРАТЫ

Бишкек-2023

Диссертация К.Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университетинин Математика жана информатика, окутуунун технологиялары кафедрасында аткарылды

Илимий жетекчи: **Мурзакматов Мукай Усупович**

физика-математика илимдеринин доктору, профессор, К.Тыныстанов атындагы Ысык-Көл мамлекеттик университетинин Математика жана информатика, окутуунун технологиялары кафедрасынын профессору

Расмий оппоненттери: **Бекетаева Асель Орозалиевна**

Физика-математика илимдеринин доктору, Аль-Фараби атындагы КазУУнун «Математикалык жана компьютердик моделдөө» кафедрасынын доценти

Мукамбаев Нурбек Жээмбаевич

Физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент, Эл Аралык Башкаруу, Укук, Финансы жана Бизнес Академиясынын Маалыматтык системалар жана технологиялар кафедрасынын профессору

Жетектөөчү мекеме: И. Арабаев атындагы Кыргыз мамлекеттик университетинин Колдонмо информатика кафедрасы, 720026, Бишкек ш., Раззакова 51 А көчөсү

Диссертацияны коргоо 2023-жылдын 3-ноябрында саат 14:00дө И.Раззакова атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинде жана Б.Ельцин атындагы Кыргыз- Орус Славян университетинде илимдин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн диссертацияларды коргоо боюнча Д 01.22.652 диссертациялык кеңешинин отурумунда болот. Дареги: 720044, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч.Айтматов пр., 66, КМТУ. И.Раззакова, (КАЗ, кабинет 1/257).

Диссертация менен И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин, 720044, Кыргыз Республикасы, Бишкек шаары, Ч.Айтматов пр., 66 дареги боюнча жана Б.Ельцин атындагы КОСУнун, 720000, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш., көч. Киев 44 дареги боюнча китепканаларынан жана www.vak.kg сайтынан таанышууга болот.

Автореферат тийиштүү тараптарга 2023-жылдын 18-сентябрында таратылып берилген.

Диссертациялык кеңештин окумуштуу катчысы,

Физика-математика илимдеринин кандидаты, доцент Т.Т. Кожошов

Иштин жалпы мүнөздөмөсү

Диссертация көп катмарлуу жер кыртышындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруунун математикалык моделин жана жөнгө салуу методун колдонуу менен ишке ашыруучу алгоритмдерди түзүүгө арналган.

Диссертациянын темасынын актуалдуулугу. Азыркы учурда суу ресурстарын, анын ичинде жер алдындагы сууларды башкаруу алардын корунун азайып баратышына байланыштуу актуалдуу проблемага айланууда. Акыркы жылдары Кыргыз Республикасында гидротехникалык жана ирригациялык-дренаждык курулуштун масштабдары кыскарып, мындай объектилердин инфраструктурасы эскирип, иштен чыгууда, бул болсо жерлердин сазга айланып, шорлонушуна алып келүүдө. Айыл чарба жерлеринин асылдуулугун сактоо жана сарамжалдуу пайдалануу – натыйжалуу чечимдерди жана аракеттерди талап кылган актуалдуу көйгөй болуп саналат.

Заманбап технологиялардын өнүгүүсүнүн жогорку темптери жаратылышта жана өндүрүштө болуп жаткан физикалык процесстерди изилдөө зарылчылыгына алып келет, ал адекваттуу математикалык моделдерди түзүүнү жана аларды андан ары өркүндөтүүнү камтыйт. Моделдеңүүчү процесстерди башкарууга болот, ошондуктан тигил же бул мааниде оптималдуу башкаруу маселеси табигый түрдө келип чыгат. Жер астындагы суулардын кыймылынын модели үчүн оптималдуу башкаруу маселесинин мааниси катмарлуу жер кыртышындагы суулардын агымын эффективдүү жөнгө салуу болуп саналат.

Мелиорациялык системаларды математикалык моделдөө жана башкаруу маселесин коюу системалуу мамилени талап кылат. Процесстерди моделдөөнүн толук проблемасы татаал, чечилүүдөн алыс. Ошондуктан, биз бул жерде жер астындагы суулардын керектүү деңгээлин камсыз кылууда зарыл болгон башкарууну иштетүү үчүн катмарындагы жер астындагы суулардын кыймылын моделдөө жана оптималдуу башкаруу теориясынын методун колдонуу менен чектелдик.

Диссертациянын темасы Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер Академиясынын Автоматика институтунда аткарылган «Жер алдындагы гидросферанын экологиялык абалын прогноздоонун принциптерин, методдорун, техникалык каражаттарын жана негизги маалыматтык системасын иштеп чыгуу» 1998-2005-ж. (мам. катталуу номери 000093) жана К.Тыныстанов атындагы ЫМУнун колдонмо математика кафедрасында аткарылган «Жер алдындагы суулардын динамикасын сандык методдор менен изилдөө» аттуу 2005-2011-жылдарда (мамлекеттик каттоо номери 0004241) аткарылган илимий программалар менен байланышкан.

Диссертациянын максаты - суу өткөрүүчү чөйрө көп катмарлуу болгондо агуучу суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселелерин чыгаруу үчүн алгоритмдерди иштеп чыгуу.

Диссертациялык иштин маселелери:

– жер астындагы суулардын динамикасын прогноздоо (болжолдоо) маселелерин математикалык моделдөө боюнча колдонулган технологияларды жана теориялык эмгектерди анализдөө;

– көп катмарларлуу чөйрөдөгү суулардын агымын оптималдуу жөнгө салуунун математикалык моделин түзгөн дифференциалдык теңдемелердин системалары үчүн баштапкы-четки маселени оптималдуу башкаруу маселеси катары изилдөө;

– математиканын заманбап методдорунун негизинде жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселелерин чыгаруунун алгоритмдерин иштеп чыгуу;

– иштелип чыккан алгоритмдерди программалардын комплекси түрүндө эсептөө эксперименттерин ишке ашырып жүргүзүүдө турат.

Илимий жаңылык. Көп катмарлуу жер кыртышындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселелерин чечүүнүн туруктуу алгоритмдери иштелип чыкты. Көп катмарлуу чөйрөлөрдөгү суюктуктарды чыпкалоонун дифференциалдык теңдемелеринин системасы үчүн баштапкы-чектик маселесинин чыгарылышынын жалгыз гана оптималдуу башкаруусу бар экендиги көрсөтүлдү.

Изилдөө методдору. Иште айрым туундулуу дифференциалдык теңдемелер системасын чыгаруу, жер астындагы суулардын кыймылын математикалык моделдөө, оптималдуу башкаруу теориясынын, корректтүү эмес маселелерди чыгаруу ыкмалары колдонулат.

Теориялык жана практикалык мааниси. Оптималдуу башкаруу теориясынын методдоруна жана корректтүү эмес маселелердин теориясына негизделген жер астындагы суулардын агымын эффективдүү жөнгө салуу маселелерин изилдөө бул методдорду гидрогеологиялык эсептөөлөрдүн практикасында колдонуунун маанилүү бөлүгү болуп саналат. Суу агуучу горизонттордун көп катмарлуу учуру үчүн ЖАСД (УГВ) оптималдуу башкаруу маселелерин сандык методдорду колдонуп чыгаруу алгоритмдери жана программалардын комплекси иштелип чыкты.

Коргоого коюлган диссертациянын негизги жоболору:

– параболикалык типтеги айрым туундулуу сызыктуу эмес эки өлчөмдүү дифференциалдык теңдемелердин системаларын чыгаруунун алгоритмдери иштелип чыкты;

– көп катмарларлуу жер кыртышындагы суулардын агымын оптималдуу башкаруунун математикалык модели түзүлдү жана булл кыймылды мүнөздөгөн дифференциалдык теңдемелер системасы үчүн оптималдуу башкаруу маселесинин бир маанилүү чечилиши көрсөтүлдү;

– изилденип жаткан маселелерди башкаруунун оптималдуулугунун зарыл шарттары алынды;

− изилденип жаткан маселелерди сандык чыгарылышынын алгоритмдери компьютердик программалардын комплексин колдонуу менен иштелип чыкты жана ишке киргизилди.

Диссертациянын илимий жоболорунун жана натыйжаларынын ишенимдүүлүгү жана негиздүүлүгү математикалык аппаратты колдонуунун тууралыгы менен ырасталат, изделип жаткан параметрлердин жакындатылган натыйжалары менен белгилүү так маанилерин салыштыруу аркылуу эсептөө эксперименттерди жүргүзүп текшерилди. Белгилүү чыгарылыштар жана жакындатылган ыкмалар менен алынган чыгарылыштардын жакындыгы, алардын ишенимдүүлүгүнүн жана тактыгынына практикалык баалуулугунун ырастоосу болуп саналат.

Изденүүчүнүн өздүк салымы.

Гидрогеологиянын прогноздук маселелерин чыгаруунун белгилүү методдорун изилдөө жана анализдөө. Көп катмарлуу кыртыштагы суюктуктарды чыпкалоону мүнөздөгөн дифференциалдык теңдемелердин системаларын жакындатып чыгаруунун алгоритмдерин жана программаларын иштеп чыгуу. Жер астындагы суулардын агымын жөнгө салуу маселелерине оптималдуу башкаруу ыкмаларын колдонуу. Натыйжаларды сандык жана сапаттык анализдөө жана эсептөө эксперименттеринин жыйынтыктарын талкуулоо

Диссертациянын жыйынтыктарын апробациялоо. Диссертациялык иштин изилдөөдөгү алынган жыйынтыктар ар түрдүү илимий семинарларда жана конференцияларда талкууланды: «Башкаруунун жана информатиканын проблеммалары» II Эл аралык конференцияда (Бишкек, 2007 ж.); И.Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университеттин 55-жылдык юбилейине арналган « Илим, билим берүү, инновациялар: өнүгүүнүн артыкчылыктуу багыттары» аттуу Эл аралык илимий-техникалык конференцияда (Бишкек, 2009), «Колдонмо математика жана механика: проблемалар жана перспективалар» аттуу Эл аралык илимий-техникалык конференцияда жана «Этникалар аралык кызматташтык жана маданияттын өнүгүшү» аттуу Республикалык конференцияда(Бишкек, 2011); КР ИУА нын академиги А.Жайнаковдун 70 жаш юбилейине арналган, «Илим, техника, жана билим берүүдө маалыматтык технологиялар жана математикалык моделдөө» Эл аралык конференцияда (Бишкек, 2011); Филологиялык илимдин негиздөөчүсү, Кыргыз республикасынын агартуучусу жана алдыңкы коомдук ишмери Касым Тыныстановдун 110 жылдыгына арналган, «Илимдин жана жогорку билим берүүнүн актуалдуу проблеммалары» Эл аралык илимий-техникалык конференцияда (Каракол, 2011), профффессов Рахим Усубакуновдун төрөлгөндүгүнүн 85-жылдыгына арналган, Колдонмо математика жана механика: проблеммалар жана перспективалар» илимий-практикалык конференцияда (И.Раззаков атындагы КМТУ, 2014); Кыргызстандын окумуштуу-механиктеринин ар жылкы VII жайкы мектебинде (Каракол, 2008); К.Тыныстанов атындагы ЫМУнун теориялык жана колдонмо математика кафедрасынын, математика жана информатика, окутуунун технологияларыкафедрасынын семинарларында жана ЫМУнун ИТК нын физика-математикалык жана техникалык секциясынын илимий семинарларында талкууланды

Жыйынтыктарды басмада жарыялоо. Диссертациянын мазмуну рецензияланган илимий журналдарда басылып чыккан 13 илимий макалада баяндалды.

Диссертациянын түзүлүшү жана көлөмү. Диссертация киришүүдөн, төрт бөлүмдөн жана корутундудан, машинкада басылган 117 барактан, 9 таблицадан, 10 сүрөттөн жана 88 аталыштагы колдонулган адабияттардын тизмесинен турат.

Диссертациянын кыскача мазмуну

Киришүүдө изилдөөнүн аталышынын актуалдуулугу негизделген; иштин максаты аныкталган; изилдөө ыкмалары, изилдөөнүн теориялык жана практикалык маанилүүлүгү баяндалган; изилденип жаткан маселелер боюнча адабияттарга обзор берилген.

I Бөлүм

Жер алдындагы суулардын кыймылынын математикалык моделдениши

§1.1 да жер алдындагы сууларды чыпкалоо теориясындагы математикалык моделдөө жөнүндө кыскача маалымдама берилди.

§ 1.2 да катмарлуу кыртыштагы сууларды чыпкалоо теңдемеси алынган.

§ 1.3 да жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселесинин коюлушу берилген.

Жер алдындагы суулардын оптималдуу деңгээлин камсыз кылуу маселеси оптималдуу башкаруу методу менен чечүүгө болот. Жалпысынан алганда, оптималдоо маселеси айрым функцияларды минималдаштырууга, б.а.

$J(f, u) \to min \qquad u \in U$ маселесине келтирилет.

Бул формулаларда J – максат функционалы; f – башкаруу параметрлери же башкаруу; U – мүмкүн болгон чыгарылыштардын көптүгү; u – фазалык координаталары деп аталат.

Биздин маселеде колдонулуучу максаттык функционал

$$J(f,h) = \iint_D \left[h(x,y,t_0; f(x,y,t_0)) - \varphi(x,y)\right]^2 dxdy, \tag{1.1}$$

ал эми чектөөлөрү катары

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(T_h \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(T_h \frac{\partial h}{\partial y}\right) + f, \tag{1.2}$$

$$\mu_{упр} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(T \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(T \frac{\partial H}{\partial y}\right) + \chi_z{}'(H_1 - H) + \chi_z{}''(H_2 - H), \tag{1.3}$$

(1.2), (1.3) теңдемелер системасы эсептелет, мында $h(x,y,t)$ – ЖАСД; $f(x,y,t)$ – башкаруучу функция; $\varphi(x,y)$ – берилген функция; t_0 – берилген убакыт; D – чыпкалоо областы

Корректтүү эмес маселелерди чыгарууда алардын туура коюлушу чоң мааниге ээ. Корректтүү эмес маселелелерди коюу маселесинде А.Н.Тихоновдун, М.М.Лаврентьевдин жана В.К.Ивановдун эмгектери принципиалдуу мааниге ээ.

(1.1) функционалын минималдаштыруу маселеси корректтүү эмес тескери маселе болуп саналат.

А.Н.Тихоновдун идеясы боюнча, маселенин баштапкы коюлушунда анын чыгарылышы Адамардын корректтүүлүк шарттарын эле канааттандырбастан, кайсы бир компактка тиешелүү болот деп болжолдонот. (1.1) фукнционалын минималдаштыруу маселеси корректтүү эмес болгондуктан, А.Н.Тихоновдун жөнгө салуу теориясына ылайык бул маселе төмөнкү жылмалоочу функционалды минималдаштырууга келтирилет

$$J(f, h) = \iint_D \left[h\left(x, y, t_0; f(x, y, t_0)\right) - \varphi(x, y)\right]^2 dxdy + \alpha\Omega(f), \tag{1.4}$$

мында $\Omega(f)$ − жөнгө салуучу оператор, α − жөнгө салуунун коэффициенти деп аталат.

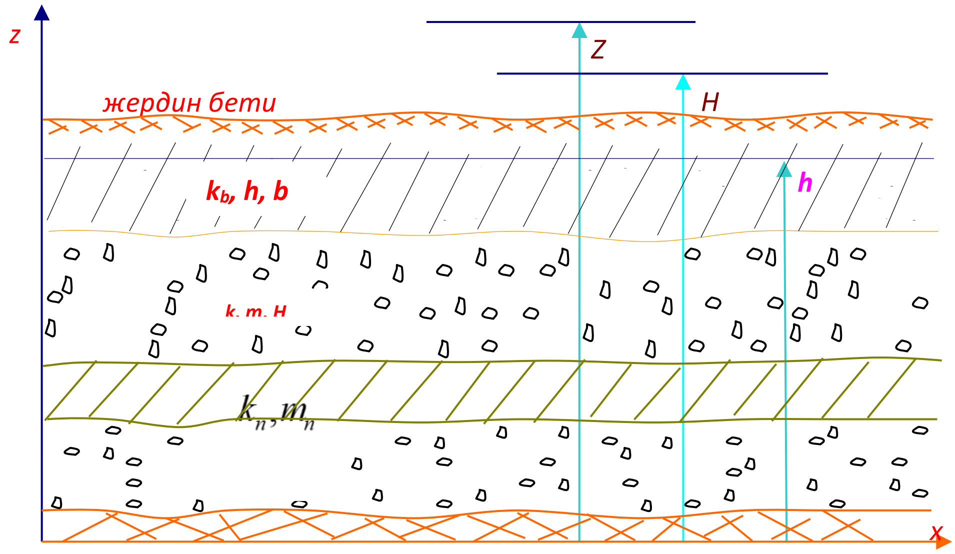
Жөнгө салуучу $\Omega(f)$ изделүүчү функция $f(x,y,t)$ жөнүндө кошумча маалыматты туюнтат. Эгерде изделүүчү функция жылма болушу керек болсо, анда функционал $\Omega(f)$ f функциялардын туундуларынан көз каранды; эгер мындай маалымат жок болсо, анда биз изделүүчү чыгарылышты нормалдуу деп эсептей алабыз, т.а. изделүүчү функция f эң кичине нормалга ээ болушу керек; башка касиеттери да колдонулушу мүмкүн. $\Omega(f)$ жөнгө салуучу операторун тандоо коюлган маселенин физикалык мазмунунан көз каранды болот. Кандай болсо да α жөнгө салуу коэффициентин туура тандоо менен (1.4) функционалын минималдаштыруу маселеси маселеси туруктуу болот.

II Бөлүм

Көп катмарлуу кыртыштагы сууларды фильтрациялоо маселелерин сандык чыгаруу

§ 2.1да көп катмарлуу кыртыштагы калыптанган фильтрациялоонун маселелерин чыгарууга чектүү элементтер методун(ЧЭМ) колдонуу каралат.

Арасын сууну начар өткөрүүчү тыгыз катмарча бөлүп турган, басым астында суу жүрүп турган, үстүндө өсүмдүктөр өсүүчү кыртыш жаап турган эки жер катмарын карап көрөлү (1-сүрөт). Көп катмарлуу кыртыштагы чыпкалоону эсептөөдө суу агымдары суулуу катмарларда горизонталдык багытта, аларды бөлүп турган тыгыз катмарчаларда вертикалдык багытта жүрөт деп болжолдойбуз.



1-Сүрөт. Көп катмарлуу пласттын түзүлүшүнүн схемасы

Көрсөтүлгөн негиздемелерди эске алуу менен көп катмарлуу кыртыштагы суулардын кыймылы төмөнкү дифференциалдык теңдемелер системасы менен жазылат:

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial}{\partial x}\left[k_b(h-b)\dfrac{\partial h}{\partial x}\right]-\dfrac{\partial}{\partial y}\left[k_b(h-b)\dfrac{\partial h}{\partial y}\right]+k_b\dfrac{h-H}{h-b}=f, \\ \dfrac{\partial}{\partial x}\left(T\dfrac{\partial H}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial}{\partial y}\left(T\dfrac{\partial H}{\partial y}\right)+k_b\dfrac{h-H}{h-b}-\dfrac{k_п}{m_п}\left(H-Z\right)=W, \quad (x,y)\in D, \end{cases} \tag{2.1}$$

мында *h(x, y), H(x, y)* и *Z(x, y)* –тиешелүү түрдө жогорку катмардагы жана негизги жана андан төмөн жайгашканкан кысылган катмарлардагы жер алдындагы суулардын деңгээлинин белгилери ЖАСД (УГВ); *T(x, y)=к(x, y) m(x,y)* – негизги суулуу горизонттун суу өткөрүүчүлүгү; $k_b(x,y)$, $k(x,y)$ и $k_п = const$ – тиешелүү түрдө үстүнкү, негизги жана начар өткөрүүчү катмарлардын чыпкалоо коэффициенттери; *в(x,y)* – үстүңкү жана негизги кысылган катмарларды бөлүүчү бет; *m(x,y)* и $m_п(x,y)$ – негизги жана начар өткөрүүчү катмарлардын калыңдыгы; *f(x, y)* – инфильтрация функциясы; *W(x,y)* – негизги суулуу катмардан суу сордуруучу эксплуатациялык скважиналарынын дебитин эске алган функция.

(2.1) теңдемелери үчүн чектик шарттар төмөнкү түргө ээ

$$T_b\frac{\partial h}{\partial n}+\beta_b h=\alpha_b, \tag{2.2}$$

$$T\frac{\partial H}{\partial n}+\beta H=\alpha, \qquad (x,y)\in S=\partial D. \tag{2.3}$$

Мында

$$T_b=k_b(h-b), \tag{2.4}$$

$\beta_b(x,y), \beta(x,y), \alpha_b(x,y)$ *жана* $\alpha(x,y)-$ берилген функциялар, $D-$ чыпкалоо областы, $S-$ анын чеги, $\partial/\partial n$ –областын чегине нормаль боюнча туунду.

(2.1) – (2.3) маселелери чектүү элементтер методу менен чыгарылат. D областын m үч бурчтуу элементтерге бөлөбүз жана изделип жаткан $h(x,y)$ жана $H(x,y)$ функцияларын төмөнкү ажыратуу түрүндө туюнтабыз:

$$h(x,y)\approx h_n(x,y)=\sum_{j=1}^{n}h_j N_j(x,y), \tag{2.5}$$

$$H(x,y)\approx H_n(x,y)=\sum_{j=1}^{n}H_j N_j(x,y), \tag{2.6}$$

мында $h_j=h(x_j,y_j)$, $H_j=H(x_j,y_j)$ - изделип жаткан функциялардын торчонун түйүндөрүндөгү маанилери;

$N_j(x,y)=a_j+b_jx+c_jy$ - сызыктуу базистик функциялар; n – торчонун түюндөрүнүн саны.

(2.1) теңдемесин төмөндөгүдөй түрдө жазабыз:

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(T_b\frac{\partial h}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(T_b\frac{\partial h}{\partial y}\right)+Q_bh=F_b,\qquad (x,y)\in D, \tag{2.7}$$

$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(T\frac{\partial H}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(T\frac{\partial H}{\partial y}\right)+QH=F,\qquad (x,y)\in D, \tag{2.8}$$

мында

$$Q_b=\frac{k_b}{h-b},\quad Q=Q_b+\frac{k_n}{m_n},\quad F_b=f+Q_bH,\quad F=-W+Q_bh+\frac{k_nZ}{m_n}. \tag{2.9}$$

$h^{(0)}(x, y)$ жана $H^{(0)}(x, y)$ баштапкы жакындатууларды түзүп, (2.4) жана (2.9) формулаларындагы h жана H функцияларынын ордуна коебуз, жана (2.7), (2.8) теңдемелерин, тиешелүү түрдө (2.2) жана (2.3) четки шарттары менен чогуу чыгарабыз. Алынган чыгарылыштарды $h^{(1)}$ жана $H^{(1)}$аркылуу белгилеп, аларды (2.4) жана (2.9) формулаларына коебуз, жана (2.7), (2.2) жана (2.8), (2.3) маселелерин чыгарып, кийинки $h^{(2)}$ жана $H^{(2)}$ жакындатууларын табабыз ж.б.. Итерациялык процессти $\max\limits_i\left|h_i^{(\nu+1)}-h_i^{(\nu)}\right|<\varepsilon$, $\max\limits_i\left|H_i^{(\nu+1)}-H_i^{(\nu)}\right|<\varepsilon,$ (2.10) шарттарынын ар бири аткарылганга чейин улантабыз, мында ν - итерация номуру; $i=1,2,3,...,n$; $\varepsilon>0$ – берилген кичине сан.

(2.7) жана (2.8) теңдемелерине жана (2.2) жана (2.3) четки шарттарына h жана H тардын ордуна h_n жана H_n функцияларын коебуз жана Галеркиндин жалпыланган принцибин жана Гриндин формуласын колдонуп, төмөнкү теңдемелер системасын алабыз

$$\iint\limits_D T_b\left(\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial h_n}{\partial x}+\frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial h_n}{\partial y}\right)dxdy+\iint\limits_Д N_iQ_bh_ndxdy+\int\limits_S N_i\beta_bh_nds=\iint\limits_Д N_iF_bdxdy+\int\limits_S N_i\alpha_bds,$$
$$i=1,2,...,n,$$

$$\iint\limits_D T\left(\frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial H_n}{\partial x}+\frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial H_n}{\partial y}\right)dxdy+\iint\limits_D N_iQH_ndxdy+\int\limits_S N_i\beta H_nds=\iint\limits_D N_iFdxdy+\int\limits_S N_i\alpha ds,$$
$$i=1,2,...,n,$$

же, (2.5) жана (2.7) ажыратууларда колдонуп, төмөндөгү сызыктуу алгебралык теңдемелер системасына (САТС) келебиз

$$\sum_{j=1}^{n}a_{ij}h_j=b_i,\quad i=1,2,...,n \tag{2.11}$$

жана

$$\sum_{j=1}^{n}A_{ij}H_j=B_i,\quad i=1,2,...,n, \tag{2.12}$$

мында

$$a_{ij}=\iint\limits_D T_bq(N_i,N_j)dxdy+\iint\limits_D Q_bN_i(x,y)N_j(x,y)dxdy+\int\limits_S \beta_bN_i(x,y)N_j(x,y)ds,$$

$$b_i=\iint\limits_D F_bN_i(x,y)dxdy+\int\limits_S \alpha_bN_i(x,y)ds,$$

$$A_{ij} = \iint_D T\ q(N_i, N_j)dxdy + \iint_D QN_i(x,y)N_j(x,y)dxdy + \int_S \beta N_i(x,y)N_j(x,y)ds,$$

$$B_i = \iint_D F\ N_i(x,y)dxdy + \int_S \alpha N_i(x,y)ds,$$

$$q(N_i, N_j) = \frac{\partial N_i}{\partial x}\frac{\partial N_j}{\partial x} + \frac{\partial N_i}{\partial y}\frac{\partial N_j}{\partial y}.$$

(2.11) жана(2.12) САТСынын матрицалары диагоналдык басымдуулугу менен жакшы шартталган болуп саналат жана алар Гаусстун методу менен жеңил чыгарылат.

Түзүлгөн алгоритм жанан аны ишке ашыруучу программа бир катар тесттик маселелерде текшерилди.

§ 2.2 да көп катмарлуу кыртыштагы суулардын туруктуу эмес чыпкалоонун модели каралган.

§ 2.3 да үстүңкү катмарда жер астындагы суулардын горизонталдуу агымы болбогон учур каралат.

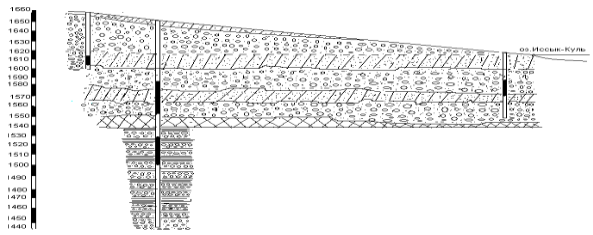
§ 2.4 да жер алдындагы суулардын конкреттүү булактарын (МПВ) математикалык моделдөө мисалы келтирилген.

Тору-Айгыр-Чоктал участогу Ысык-Көлдүн түндүк жээгинде жайгашкан. Участоктун батыш жана чыгыш чек аралары Тору-Айгыр жана Чоктал сууларынын конус аралык ойдуңдары менен өтөт. Түндүк чек арасы – Күнгөй Ала-Тоонун тоо капталдары, түштүк чек арасы – Ысык-Көл (2-сүрөт).

Тору-Айгыр-Чоктал участогунун гидрогеологиялык изилдөөсү кыртыштын тик кесилишинде анын көп катмарлуулугун жана горизонталдык багытында бир тектүү эместигин көрсөткөн.

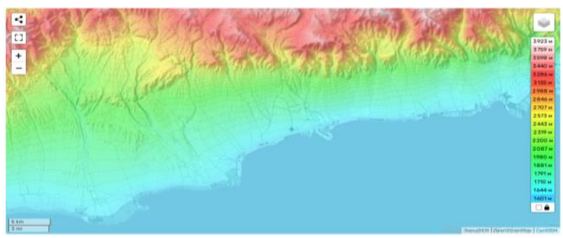
Бул жерде жайланышына ылайык жер астындагы басымсыз да, катмарлар аралык тешикчелердеги кысылган суулар да камтылган.

А)



Б)

В)



Г)

2-Сүрөт.

А) Жер алдындагы суулардын деңгээлинин божомолдуу изосызыктары;

Б) Туура-Суу суусу боюнча гидрогеологиялык кесилиши ; в) Ирригациялык фонд; г) Топографиялык карта .

Жер астындагы суулардын тереңдиги бул жерде көлдөн 0,0−0,3-5,6-9,4 м аралыкта өзгөрүп турат. Катмарлар аралык кысылган суулуу горизонттор +2,06−3,0 метрден +12,0 метрге чейинки пьезометрдик деңгээлдеринин абалы менен мүнөздөлөт.Алардын пайда болуу тереңдиги көлдөн алыстаган сайын өсөт.

Суулуу горизонттун негизги булагы болуп агым конусунун башкы бөлүгүндөгү сугат каналдарындагы суунун жерге сиңиши эсептелинет.

Бул участокто 200 м тереңдикте жайгашкан скважиналарда пьезометриялык деңгээли +12, +13 м, ар бир скважинанын суунун дебити 10 - 12 л/с чейин болгон катмар аралык кысылган суулар бар (3-сүрөт).

Каралып жаткан аянтта кысылган жана кысылбаган жер астындагы суулардын деңгээлин (ЖАСД) тажрыйбалык фильтрациялоо методу менен алыган жыйынтыгындай тактыкта аныктоо маселеси коюлган. Бул маселени бөлүктөп жылмаланган сызык менен чектелген эки өлчөмдүү областагы калыптанбаган фильтрациялоо маселеси деп кароого болот.

Жогоруда баяндалган суулуу катмарлардын түзүлүшүнө ылайык, алардагы жер алдындагы сууларды фильтрациялоо иши баштапкы жана чек ара шарттары (2.3), (2.4) менен берилген дифференциалдык теңдемелердин (2.1), (2.2) системасы менен моделделет.

Иштелип чыккан алгоритмдерди колдонуу менен Ысык-Көлдүн түндүк жээгинде жайгашкан Тору-Айгыр-Чоктал чыныгы гидрогеологиялык объектисинде жер алдындагы суулардын деңгээлин прогноздоо маселеси чыгарылды.

Өлчөө катасынын чегинде жер астындагы суулардын деңгээлинин алынган прогноздору, өлчөө пункттарында байкалган деңгээлдер менен канааттандырарлык дал келгени көрүндү.

III Бөлүм

Катмарланган кыртыштагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруунун зарыл шарты

§ 3.1 да көп катмарлуу кыртыштагы суулардын калыптанган деңгээлин оптималдуу башкаруу маселеси каралган. Жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселеси төмөндөгүдөй коюлат:

$$J(f) = \iint_D \left[h(x,y; f(x,y)) - \varphi(x,y)\right]^2 dxdy + \alpha \iint_D \left[f(x,y)\right]^2 dxdy, \qquad (3.1)$$

функционалына минимум берүүчү $f(x,y)$ башкаруучу функцияны түзүү талап кылынат, мында $h(x,y)$− ЖАСД; $\varphi(x,y)$− жер алдындагы суулардын оптималдуу деңгээлин туюнтуучу берилген функция; $\alpha > 0$− жөнгө салуу параметри; D− чыпкалоо областы.

(3.1) функционалына минимум берүүчү $f_{onm}(x,y)$функциясы оптималдуу башкаруу, ал эми ага тиешелүү $h_{onm}(x,y)$ функциясы – жер алдындагы суулардын оптималдуу деңгээли деп аталат. Жер алдындагы суулардын деңгээли

$h(x,y)$ (2.2), (2.3) четки шарттары менен берилген (2.1) дифференциалдык теңдемелер системасынан аныкталат.

Жер алдындагы суулардын деңгээлинин маанилери чекиттердин дискреттик көптүгүндө эсептелгендиктен, (3.1) функционалынын дискреттик аналогун жазабыз:

$$J(f) = \sum_{i=1}^{n} [h(x_i, y_i; f_i) - \varphi(x_i, y_i)]^2 + \alpha \sum_{i=1}^{n} f_i^{\,2}, \tag{3.2}$$

мында n — эсептөө торчонун түюндөрүнүн саны.

ЖАСД $h(x,y;f)$ $f(x,y)$ функциясынан сызыктуу эмес көз каранды, аны f ге карата төмөндөгүдөй сызыктуу түрдө жазабыз:

$$h(f) = \tilde{h} + \sum_{s=1}^{n} (f_s - \tilde{f}_s) \frac{\partial h}{\partial f_s} + R_2(\Delta f), \tag{3.3}$$

бул жерде $\tilde{h} = h(\tilde{f})$, $\tilde{f}$ – f функциясынын мурунку итерациядан табылган белгилүү мааниси. h үчүн (3.3) туюнтмасын (3.2) формуласына коюп

$$J(f) = \sum_{i=1}^{n} \left[\tilde{h}_i + \sum_{s=1}^{n} (f_s - \tilde{f}_s) \frac{\partial h_i}{\partial f_s} - \varphi_i \right]^2 + \alpha \sum_{i=1}^{n} f_i^{\,2} \tag{3.4}$$

функциясын алабыз.

Көп өзгөрмөлүү функциянын минимумунун зарыл шарттын колдонуу менен

$$\frac{\partial J(f)}{\partial f_k} = 0, \qquad k = 1,2,\ldots,n,$$

б.а. f_s, $s = 1,2,\ldots,n$ ке карата сызыктуу алгебралык теңдемелер системасына келебиз:

$$\sum_{i=1}^{n} \left[\tilde{h}_i + \sum_{s=1}^{n} (f_s - \tilde{f}_s) \frac{\partial h_i}{\partial f_s} - \varphi_i \right] \frac{\partial h_i}{\partial f_k} + \alpha f_k = 0,$$

же

$$\sum_{s=1}^{n} a_{ks} f_s = b_k, \; k = 1,2,\ldots,n, \tag{3.5}$$

мында

$$a_{ks} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial h_i}{\partial f_s} \frac{\partial h_i}{\partial f_i}, \qquad k \neq s; \qquad a_{kk} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial h_i}{\partial f_k} \right)^2 + \alpha,$$

$$b_k = \sum_{i=1}^{n} \left(\varphi_i - \tilde{h}_i + \sum_{s=1}^{n} \frac{\partial h_i}{\partial f_s} \tilde{f}_s \right) \frac{\partial h_i}{\partial f_k}.$$

Жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселеси төмөнкүдөй ишке ашырылат. Мүмкүн болгон башкаруунун баштапкы жакындатуусу катары $f^{(0)}(x,y) = 0$ функциясы кабыл алынып, (2.1)–(2.4) маселеси чыгарылат, тиешелүү $h^{(1)}(x,y)$ ЖАСДдери табылат. Алынган ЖАСДдердин маанилери (3.5) системаны чыгаруу үчүн колдонулат. Бул системаны кандайдыр бир так же итерациялык метод менен чыгаруу менен, башкаруунун $f^{(1)}(x,y)$ биринчи жакындоосун алабыз. Бул функцияны (2.1) ге коюп жана эсептөөнүн бүткүл циклин кайталап, кийинки $f^{(2)}(x,y)$ жакындоосун алабыз ж.б.. Итерациялык процесс

$$\left|h^{(\nu)}(x,y)-h^{(\nu-1)}(x,y)\right|<\varepsilon,$$

шарт аткарылгычакты улантылат, мында ν— итерациянын номуру; $\varepsilon>0$ жана $\delta>0$— берилген кичине сандар.

§ 3.2 да жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруунун туруктуу эмес режимде чыгаруу алгоритми баяндалган.

Суу өткөрүүчү кыртыш эки катмарлуу болсо жер алдындагы суулардын кыймылы

$$\begin{cases} h(x,y,0)=h_0(x,y), \\ H(x,y,0)=H_0(x,y), \qquad (x,y)\in D, \end{cases} \tag{2.2}$$

баштапкы жана

$$\begin{cases} T_b\dfrac{\partial h}{\partial n}+\beta_b h=\alpha_b, \\ T\dfrac{\partial H}{\partial n}+\beta H=\alpha, \qquad (x,y)\in S=\partial D, \quad t>0, \end{cases} \tag{2.3}$$

четки шарттары менен берилген (1.1), (1.2) дифференциалдык теңдемелердин системасы менен жазылат.

$Q=\{(x,y)\in D,\ \ 0<t\le t_0\}$ деп белгилейли. Ар бир $f(x,y,t)\in L_2(Q)$ берилген башкарууда (1.1) , (1.2) четки маселеден тиешелүү $h(x,y,t)=h(x,y,t,f)$ чыгарылышы бир маанилүү аныкталат. $f(x,y,t)$ башкаруусунун үзүлүүсү мүмкүн болгондуктан, (1.1) , (1.2) маселесинин классикалык чыгарылышы жок болушу мүмкүн. Ошондуктан бул четки маселенин чыгарылышын жалпыланган маанide түшүнөбүз.

$f(x,y,t)$ башкаруусуна туура келген (1.1), (1.2), (3.1), (3.2) четки маселелердин жалпыланган чыгарылышы катары каалагандай $\psi(x,y,t),\zeta(x,y,t)\in W_2^{0,1}(Q)$ функциялары үчүн,

$$\iint_D \mu_b\left[\psi(x,y,t_0)h(x,y,t_0)-\psi(x,y,0)h_0(x,y)\right]dx\,dy-\int_0^{t_0}\int_S \psi(\alpha_b-\beta_b h)\,ds\,dt-$$

$$-\iiint_Q\left[h\mu_b\frac{\partial\psi}{\partial t}-T_b\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\frac{\partial h}{\partial x}+\frac{\partial\psi}{\partial y}\frac{\partial h}{\partial y}\right)-\psi\left(k_b\frac{h-H}{m_b}-f_b\right)\right]dx\,dy\,dt=0,$$

$$\iint_D \mu_{упр}\left[\zeta(x,y,t_0)H(x,y,t_0)-\zeta(x,y,0)H_0(x,y)\right]dx\,dy-\int_0^{t_0}\int_S \zeta(\alpha-\beta H)\,ds\,dt-$$

$$-\iiint_Q\left\{H\mu_{упр}\frac{\partial\zeta}{\partial t}-T\left(\frac{\partial\zeta}{\partial x}\frac{\partial H}{\partial x}+\frac{\partial\zeta}{\partial y}\frac{\partial H}{\partial y}\right)+\zeta\left[k_b\frac{h-H}{m_b}-\frac{k_n}{m_n}(H-z)+f\right]\right\}dx\,dy\,dt=0$$

интегралдык теңдештиктерин канагаттандырган, $h(x,y,t,f_b)$ жана $H(x,y,t)$ функцияларын түшүнөбүз.

Жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселеси, $t\ge t_0$ дө

$$J(f_b)=\iint_D\left[h(x,y,t_0,f_b)-\varphi(x,y)\right]^2dxdy+\gamma\int_0^{t_0}\iint_D f_b^2(x,y,t)dxdydt \tag{3.3}$$

функционалын минимумга жеткирүүчү $f_b(x,y,t)$ башкаруучу функциясын түзүүгө келтирилет, бул жерде $h(x, y, t, f) -$ (2.1)–(2.3) маселесинен аныкталуучу, жер алдындагы суулардын деңгээли; $\varphi(x, y) \in L_2(D) -$ жер алдындагы суулардын оптималдуу деңгээлин туюнтуучу берилген функция; $\gamma > 0 -$ жөнгө салуу параметри; $t_0 -$ убакыттын берилген учуру.

$f^*(x, y, \boxminus)$ оптималдуу башкаруусу

$$\boldsymbol{f_b(x, y, t) = \frac{1}{2\gamma}\psi(x, y, t).} \tag{3.4}$$

шартын канагаттандырышы керек экендиги далилденген, мында

$$\psi(x,y,t_0) = -\frac{2[h(x,y,t_0) - \varphi(x,y)]}{\mu_b}.$$

§ 3.3 дө жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселесин жакындатып чыгаруу алгоритми баяндалган. Жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселеси $t \geq t_0$ дө

$$J(f_b) = \iint_D [h(x,y,t_0,f_b(x,y,t_0)) - \varphi(x,y)]^2 dxdy + \gamma\int_0^{t_0}\iint_D [f(x,y,t)]^2 dxdydt. \tag{3.5}$$

функционалын минимумга жеткирүүчү $f_b(x, y, t)$ функциясын табуу болуп саналат.

Бул жерде $\varphi(x, y) -$ жер алдындагы суулардын оптималдуу деңгээлине барабар болгон берилген функция; $\gamma > 0 -$ жөнгө салуу параметри; $t_0 -$ убакыттын берилген моменти. $h(x, y, t, f_b)$ функциясы *башкаруунун объектиси*, ал эми $f(x, y, t)$ − *башкаруу функциясы же башкаруу* деп аталат. (3.5) функционалын минимумга жеткирүүчү $f^*(x, \sim, t)$ функциясы *оптималдуу башкаруу*, ал эми ага туура келүүчү $h^*(x, y, t) = h(x, y, t, f^*)$ функциясы − *жер алдындагы суулардын оптималдуу деңгээли* деп аталат.

[5] иште f^* оптималдуу башкаруу

$$f_b(x, y, t) = \frac{1}{2\gamma}\psi(x, y, t), \tag{3.6}$$

шартын канагаттандырышы керек экендиги далилденген, мында $\psi(x, y, t)$ −

$$\begin{cases} \mu_b \dfrac{\partial\psi}{\partial t} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left(T_b \dfrac{\partial\psi}{\partial x}\right) + \dfrac{\partial}{\partial y}\left(T_b \dfrac{\partial\psi}{\partial y}\right) - k_b \dfrac{\psi - \zeta}{m_b} = 0, \\ \mu_{упр} \dfrac{\partial\zeta}{\partial t} + \dfrac{\partial}{\partial x}\left(T \dfrac{\partial\psi}{\partial x}\right) + \dfrac{\partial}{\partial y}\left(T \dfrac{\partial\psi}{\partial y}\right) + k_b \dfrac{\psi - \zeta}{m_b} - \dfrac{k_n}{m_n}\zeta = 0, \\ (x, y) \in D, \qquad 0 \leq t < T_0, \end{cases} \tag{3.7}$$

$$\begin{cases} \psi(x,y,T_0) = -\dfrac{2}{\mu_b}\left[h(x,y,t_0) - \varphi(x,y)\right], \\ \zeta(x,y,T_0) = -\dfrac{2}{\mu_{упр}}\left[H(x,y,t_0) - H_0(x,y)\right], \qquad (x,y) \in D, \end{cases} \tag{3.8}$$

$$\begin{cases} T_b \dfrac{\partial \psi}{\partial n} + \beta_b \psi = 0, \\ T \dfrac{\partial \zeta}{\partial n} + \beta \zeta = 0, \qquad (x,y) \in S, \quad 0 \le t < T_0. \end{cases} \tag{3.9}$$

тутумдаш баштапкы-четки маселенин чыгарылышы.

Мындан, берилген f үчүн эки четки маселени чыгаруу керек: алгач (1.1)−(1.2) ден $h(x,y,t,f_b)$, $H(x,y,t)$ функцияларын аныкташ керек, андан кийин (3.8) баштапкы шартка алынган $h(x,y,t_0)$ жана $H(x,y,t_0)$ функцияларын коюп жана (3.7)−(3.9) тутумдаш четки маселеден $\psi(x,y,t)$ ди таап, алынган $\psi(x,y,t)$ ди (3.6) формуласына коюп чыгарыш керек.

$f(x,y,t)$ инфильтрациянын учурдагы маанилери боюнча $[0,t_0]$ аралыгында (1.1) – (1.2) маселесин чыгарып, $h(x,y,t_0)$ жана $H(x,y,t_0)$ функцияларын аныктайбыз. Андан кийин, (3.8) «баштапкы» шартын колдонуп, (3.7)−(3.9) ретроспективдүү маселесин чыгарыбыз. Бул маселе (1.1)−(1.2) маселесиндеги эле торчодо жана ошол эле алгоритм боюнча, бирок t өзгөрмөсүнүн тескери багытында чыгарылат. Жыйынтыгында $\psi(x,y,t)$ функциясынын талаасын жана (3.6) формуласы боюнча $f_b(x,y,t)$, башкаруусун табабыз, ал эми тиешелүү жер алдындагы суулардын деңгээлдери (1.1),(1.2) маселеден аныкталат. Бул процедура оптималдуу башкаруу маселесинин биринчи итерациясы болот. Кийинки итерацияларда $f(x,y,t)$ башкаруунун мурунку итерацияда алынган маанилеринде айтылган процедура кайталанат. Процесс

$$\max_i \left| h(x_i,y_i,t_0) - \varphi(x_i,y_i) \right| \le \delta,$$

шарты аткарылганга чейин уланат, мында $\delta > 0$ − берилген сан.

Башкаруу функциясы жер алдындагы суулардын кыймылын сүрөттөгөн маселенин чектөөлөрүндө камтылган, б.а. башкаруу бөлүштүрүлгөн болуп саналат. Бул бүткүл аянт боюнча алынган суунун көлөмүн чамалоого, андан кийин суусу бар тоо тектердин механикалык касиеттерине жана гидрогеологиялык жана мелиоративдик абалга жараша дренаждардын тибин жана ордун тандоого мүмкүндүк берет.

IV Бөлүм

Гидромелиорацияда вертикалдык (тик) дренажды колдонуу

§ 4.1 да вертикалдык (тик) дренаждын гидромелиорациядагы ролу баяндалат.

Жерди мелиорациялоо үчүн жер алдындагы сууларды гана эмес, ошондой эле төмөндө жаткан жер алдындагы кысылган суулардын комплексин да камтыган, жер алдындагы суулардын жогорку катмарын да изилдөө керек. Аэрация зонасы аркылуу жер алдындагы суулар айыл чарба мелиорациясынын түздөн-түз объектиси болгон кыртыштар менен байланышта болот. Бирок гидротехникалык жана мелиоративдик ири курулуштар бардык жогорку катмардын жер алдындагы сууларына таасирин тийгизет. Ошого жараша, мелиорация үстүңкү кыртыштагы сууларды жөнгө салуу менен гана чектелбейт. Ошондуктан, жер алдындагы суулардын жогорку ярустагы катмары да изилдөөнүн жана мелиорациянын предмети болууга тийиш. Бул позициялардан, чоң роль вертикалдык дренажга − жер алдындагы суулардын жогорку терең катмарларына активдүү таасир этүүгө мүмкүндүк берүүчү скважиналардын системасына таандык. Мындай мааниде горизонталдуу дренаждын мүмкүнчүлүгү чектелген.

Мелиорациялык дренаждын эсептөөлөрү дренаждык курулуштардын параметрлерин чамалоого, аларды табигый шарттарда кылдат изилдөөгө жана пландаштырылган иш-чаралардын бүткүл комплексин туура эсепке алган учурларга негизделген системанын иш-аракетин прогноздоого мүмкүндүк берет. Геофильтрациянын типтүү схемаларын негиздөөдө, гидрогеологиялык позицияда дренаждын тибин тандоону жана анын иш-аракетинин эффективдүүлүгүн аныктоочу негизги фактор болуп, сууну жакшы өткөрүүчү горизонттордун болушу экендигин эске алуу зарыл.

Тажрыйбалык – фильтрация иштеринин теориясынын негизин скважиналардын аракетине шартталган, чыпкалоо агымдарын математикалык сүрөттөп жазуу методдору түзөт. Аталган методдор вертикалдык скважинаны, фильтрация областарынын өлчөмдөрүнө салыштырмалуу скважиналардын кичинекей радиустарын эске алуу менен, тегиздиктеги пландуу маселелерде чекиттик агым катары, ал эми сызыктуу фильтрация ылдамдыгынын вертикалдык курамдарын эске алган маселелерде сызыктуу агым катары карайт. Мындай идеалдаштыруу математикалык физикада өнүккөн айрым туундулуу дифференциалдык теңдемелердин кең чөйрөсүндө булактар – агымдар теориясынын методдорун эффективдүү колдонууга мүмкүндүк берет.

Фильтрациялык эсептөөдөрдө гидрогеологиялык схемалаштыруу процессинде реалдуу табигый кырдаалды моделдөөгө мүмкүн болгон типтүү эсептөө схемалары өзгөчө бөлүнүп каралат. Эсептөө схемаларын типке бөлүүдө эксперименттин натыйжаларына таасир этүүчү факторлордун кеңири чөйрөсүн эске алуу керек.

Сордуруу учурунда фильтрация областынын тышкы чектериндеги шарттарга ылайык төмөнкү учурларды бөлүүгө болот:

1) туруктуу суу деңгээли, берилген чектер – биринчи түрдөгү чектик шарттын айрым учуру;

2) суу өткөрбөөчү чектер – экинчи түрдөгү чектик шарттын айрым учуру;

3) андагы (H_{Γ}) деңгээл жана $q_{\Gamma} = k\left.\dfrac{\partial H}{\partial n}\right|_{\Gamma}$ бирдик чыгымдын ортосундагы сызыктуу катыш менен берилген чектер – үчүнчү түрдөгү чектик шарт;

4) фильтрациялык касиеттери кыйла айырмаланган тоо тектерин бөлгөн чектер, мында чектердин эки жагынан тең деңгээлдердин ($H_{\Gamma}{}^{I} = H_{\Gamma}{}^{II}$) жана бирдик чыгымдардын ($k^{\mathrm{I}}\left.\dfrac{\partial H^{I}}{\partial n}\right|_{\Gamma} = -k^{\mathrm{II}}\left.\dfrac{\partial H^{II}}{\partial n}\right|_{\Gamma}$) барабардык шарты аткарылган учур –төртүнчү түрдөгү чектик шарт.

T суу өткөргүчтүүгү менен пландык-радиалдык агымдагы деңгээлдин төмөндөшү S үчүн дифференциалдык теңдеме төмөнкүдөй жалпы формада жазылат:

$$\mu_{\text{упр}}\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{T}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial S}{\partial r}\right) + \upsilon_n\,, \tag{4.1}$$

мында υ_n – катмардын үстү жана асты аркылуу агымдын интенсивдүүлүгү.

Скважина үчүн эң мүнөздүү четки шарт скважинанын четинде Q_c дебитин берүү болуп саналат: $r = r_c$ болгондо

$$Q_c = 2\pi\, r_c T\frac{\partial S}{\partial r} \tag{4.2}$$

мында r_c – скважинанын дубалынын радиусу.

Скважиналардын туруктуу дебитинде чекиттик агым үчүн $Q = const$ алынган. (1.1) теңдемесинин фундаменталдык чыгарылышы төмөнкү жалпы туюнтма менен көрсөтүлөт.

$$S = \frac{Q}{4\pi T}W(r,t)\,, \tag{4.3}$$

мында $W(r,t)$ – скважинанын өлчөмсүз функциясы.

§ 4.1 да вертикалдык (тик) дренаждын гидромелиорациядагы ролу баяндалат.

Жер алдындагы суулардын эки катмарлуу кыртыштагы кыймылын карайбыз, мында жер алдындагы суулардын кыймылы вертикалдык (тик) багытта гана жүрөт деп эсептейбиз. Маселенин мындай коюлушунда, жер алдындагы суулардын кыймылы төмөнкү дифференциалдык теңдемелер системасы менен сүрөттөлөт:

$$\begin{cases} \mu_b\dfrac{\partial h}{\partial t} + k_b\dfrac{h-H}{m_b} = f, \\[2ex] \mu_{упр}\dfrac{\partial H}{\partial t} - \dfrac{\partial}{\partial x}\left(T\dfrac{\partial H}{\partial x}\right) - \dfrac{\partial}{\partial y}\left(T\dfrac{\partial H}{\partial y}\right) - k_b\dfrac{h-H}{m_b} + \dfrac{k_n}{m_n}(H-Z) + F = W, \\[2ex] \qquad (x,y)\in D, \qquad t > 0, \end{cases} \tag{4.4}$$

$F(x,y,t)$ функциясы негизги кысылган горизонттон суу соруучу скважиналардын дебитин туюндурат, б.а.ушул функциянын жардамы менен жер алдындагы суулардын деңгээлин башкаруу ишке ашырылат.

Жер алдындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселеси төмөндөгүдөй коюлат. $t \geq t_0$ болгондо

$$J(F)=\iint_D [h(x,y,t_0;F(x,y,t_0))-\varphi(x,y)]^2 dxdy+\gamma \iint_D \int_0^{t_0} [F(x,y,t)]^2 dxdydt \qquad (4.5)$$

функционалын минимумга жеткирүүчү $F(x,y,t)$ башкаруучу функциясын түзүү талап кылынат.

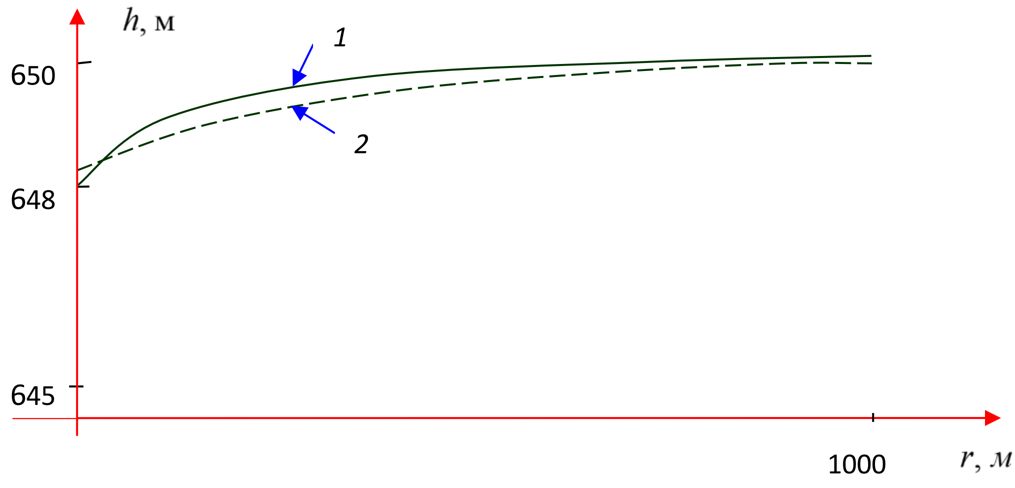
Жер алдындагы суулардын деңгээлинин маанилери чекиттердин дискреттүү көптүгүндө эсептелет, ошондуктан, (2.4) функционалынын ордуна, анын дискреттик аналогун минимумдаштырабыз:

$$J(F)=\sum_{i=1}^{n}[h(x_i,y_i,t_0;F_i)-\varphi(x_i,y_i)]^2+\gamma\sum_{i=1}^{n}F_i^2\,, \qquad (4.6)$$

мында $n-$ эсептөө торчосунун түйүндөрүнүн саны.

$J(F)$ функциясын минимумга жеткире турган, $F(x,y,t)$ функциясынын маанилерин издешибиз керек. Тесттик маселелерди чыгаруу, жер алдындагы суулардын деңгээлин башкарууну тандап алган оптималдаштыруу методдорунун адекваттуулугу жөнүндө гана күбөлөйт. (4.4)−(4.5) маселени чыгаруунун негизги максаты – $F(x,y,t)$ башкаруу функциясынын маанилерин табуу болуп саналат. Бул функциянын маанилери негизги кысылган катмардан сордурулган суунун көлөмүн эсептөөгө мүмкүндүк берет. Маселени чыгаруунун кийинки этабында скважиналардын санын (алардын техникалык мүнөздөмөлөрү боюнча) жана эсептөө торчосунун түйүндөрүндө алардын жайгаштырылышын аныктоо маселелери иштелип чыгат.

§ 4.3-тө скважинага жакын зонада жер алдындагы суулардын деңгээлин аныктоо маселеси каралат, ал үчүн (1.1), (1.2) теңдемелердин системасы цилиндрдик координаттарда чыгарылат. Скважинанын сордуруу аракети менен жер алдындагы суулардын деңгээлинин төмөндөшүн аныктоо үчүн эсептөө эксперименттери жүргүзүлдү. 3-сүрөттө 60 күндүк сордуруудан кийин үстүнкү кыртыштагы фильтрация ылдамдыгынын горизонталдык курамдарын эсепке албагандагы депрессиялык ийри сызыктарынын графиктери көрсөтүлгөн.



3-Сүрөт. *1*− (4.3) *формула боюнча алынган депрессиялык ийри сызык*; *2*− *эсептөөдөн алынган сызык*.

§ 4.4 дө көп катмарлуу кыртыштагы суулардын деңгээлин комплекстүү башкаруу маселеси изилденген. Үстүнкү кыртыш катмарында да, биринчи кысылган суулуу горизонтто да жайгаштырылган дренаждардын биргелешкен иши каралат.

§ 4.5 де жер алдындагы суулардын деңгээлин башкаруу үчүн горизонталдык дренажды колдонуу анализденет

Жер алдындагы суулар сугат жана кыртыштагы туздарды агызуу мезгилинде жер бетине көтөрүлөт. Буулануунун жана суунун дренаждарга агып кетүүсүнүн таасири астында жер алдындагы суулардын деңгээлинин төмөндөшү ар кандай ылдамдык менен жүрөт. Башкача бирдей шарттарда, жер алдындагы суулардын деңгээлин төмөндөтүү ылдамдыгы дренаждардын тереңдигине жана алардын арасындагы аралыктарга, башкача айтканда дренаждоонун сапатына жана дренаждардын арасындагы суунун басымынан көз каранды болот. Жер алдындагы суулардын азайышынын темпи туруктуу бойдон кала бербейт. Убакыттын өтүшү менен ал чоң маанилерден кичинелерге өзгөрөт. Мелиораторлордун маалыматтары ачык дренаждык участоктордо жер алдындагы суулардын 2 м жана андан төмөн терендикте кармап туруу мүмкүн эместигин көрсөтөт. Бул дренаждардын ортосундагы аралыктын узарып жана алардын урап жана ылайлануусунан тереңдигинин тайыздап кетишине байланыштуу.

Ошентип, орточо жылдык кесилиште жер алдындагы суулардын деңгээлин кыртышты шорлондурбаган тереңдикте кармап турууга болот. Бирок, начар иштеген дренаждын фонунда сугаттын таасири астында жер алдындагы суулардын деңгээлинин көтөрүлүшүнө байланыштуу туздар жер бетине таралышы мүмкүн.

Изилдөөнүн методикасы дренаждык иштердин физикалык картинасын жана анын мелиорациялык иш-чараларынын натыйжалуулугуна тийгизген таасирин аныктоо үчүн жер алдындагы сууларды чыпкалоонун математикалык моделдеринин негизинде адабият маалыматтарын жана эсептөө эксперименттерин талдоонун жана жалпылоонун айкалышына негизделген. Дренаж иштеринин физикалык картинасы катары дренаждардын аракет чөйрөсүндө жана дренаждардын ортосундагы жер алдындагы суулардын кыймылын изилдөө түшүнүлөт. Эсептөөдөн алынган маалыматтар 1963—1972-жылдардагы Кирг НИИВХ жана ВНИИКАМСта жүргүзүлгөн талаа изилдөөлөрүнүн натыйжалары менен канааттандырарлык түрдө дал келет.

КОРУТУНДУ

Диссертациялык иштин негизги натыйжалары төмөнкүлөр:

1. Галеркин принцибин колдонуп, чектүү элементтер методу менен параболалык типтеги сызыктуу эмес эки өлчөмдүү айрым туундулуу дифференциалдык теңдемелердин системаларын эсептеп чыгаруунун алгоритмдери иштелип чыкты.
2. Көп катмарлуу кыртыштагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруунун математикалык модели түзүлдү, жөнгө салуу методун жана заманбап математикалык методдорду колдонуу менен оптималдаштыруу маселелерин чыгаруунун алгоритмдери иштелип чыкты.
3. Оптималдуу башкаруунун бар экендиги далилденди, максаттык функцияны минималдаштыруу маселесинин зарыл шарты алынды жана параболалык типтеги айрым туундулуу дифференциалдык теңдемелердин системасы менен сүрөттөлгөн оптималдуу башкаруу маселеси үчүн оптималдаштыруу системасы алынды.
4. Бардык прогноздук жана оптималдаштыруу маселелердин алгоритмдерин ишке ашыруу үчүн программалардын комплекси иштелип чыкты, алар көп катмарлуу кыртыштагы суулардын агымынын бир катар мерчемделген стационардык жана стационардык эмес моделдерде чыгарууда сыналды. Жүргүзүлгөн эсептөө эксперименттери иштелип чыккан методдордун жана алгоритмдердин ишенимдүүлүгүн жана практикалык маанисин ырастады.
5. Сунуш кылынып жаткан иште жер астындагы суулардын деңгээлин бөлүштүрүүнү оптималдаштыруунун методдору башкаруучу таасирлердин түрүн тандоого мүмкүнчүлүк түзөт, мында жердин бетине сууну жеткирүүчү сордуруучу скважиналар жана горизонталдык дренаждар пайдаланылды.

Диссертациянын негизги илимий натыйжалары төмөнкү эмгектерде жарыяланган:

1. Маданбекова Э.Э. Задача оптимального управления движением подземных вод в слоистых пластах[Текст] / Э.Э.Маданбекова //Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию Касыма Тыныстанова − просветителя и ведущего общественного деятеля Кыргызской Республики, основателя филологической науки «Актуальные проблемы науки и высшего образования», Вестник ИГУ,№30, Каракол: 2011, -С.39-44.

2. Маданбекова Э.Э. Пример оптимального управления уровнем грунтовых вод в многослойных пластах в установившемся режиме [Текст] / Э.Э.Маданбекова //Альманах современной науки и образования, №7(50). – Тамбов: 2011.-с 64-68.

3. Маданбекова Э.Э. Численное решение задачи нестационарной фильтрации подземных вод в двухслойных пластах [Текст] / Э.Э.Маданбекова //Материалы Международной научно-технической конференции «Прикладная математика и механика: проблемы и перспективы» и Республиканской конференции «Межэтническая солидарность и развитие культуры». Известия КГТУ им. Раззакова, №22, Бишкек: 2011, - С.190-194.

4. Маданбекова Э.Э. Прогнозирование уровня грунтовых вод в многослойных пластах [Текст] / Исабеков К.А., Э.Э.Маданбекова //Современные проблемы механики сплошных сред. Выпуск десятый: Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии / Комитет по теорет. и прикл. Механике Кыргызстана, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР. Бишкек: 2009, - с. 166-172.

5. Маданбекова Э.Э. Задача оптимального управления уровнем грунтовых вод в слоистых пластах[Текст] / М.У. Мурзакматов, Э.Э.Маданбекова //Известия КГТУ им. И.Раззакова, №24, Бишкек: 2011.-с.154-159.

6. Маданбекова Э.Э. Математическая модель неустановившейся фильтрации подземных вод в многослойных пластах[Текст] / М.У. Мурзакматов, Э.Э.Маданбекова //Доклады II международной научной конференции «Проблемы управления и информатики». Книга 2. − Бишкек: 2007. -С. 112-117.

7. Маданбекова Э.Э. Оптимальное управление уровнем грунтовых вод с помощью напорных[Текст] / М.У. Мурзакматов, Э.Э.Маданбекова //Известия КГТУ им. И.Раззакова, №34, Бишкек: 2015, -с.210-214

8. Маданбекова Э.Э. Оптимальное управление уровнем грунтовых вод в многослойных пластах[Текст] / М.У. Мурзакматов, Э.Э.Маданбекова //Известия КГТУ им. И.Раззакова, №17, Бишкек: 2009.-с.188-191.

9. Маданбекова Э.Э. Применение метода конечных элементов к решению задач установившейся фильтрации в многослойных пластах[Текст] / М.У.Мурзакматов, Э.Э.Маданбекова // Вестник ИГУ, №15,Каракол, 2005. - С. 73-77.

10. Маданбекова Э.Э. Приближенное решение одномерных задач фильтрации[Текст] / М.У.Мурзакматов, Ж.М.Мамыров, Э.Э.Маданбекова //Вестник ИГУ, №3, Каракол, 1999. - с.78-81.

11. Маданбекова Э.Э. Алгоритм приближенного решения задачи оптимального управления уровнем грунтовых вод при слоистом строении водоносных пластов [Текст] / Э.Э.Маданбекова //Бюллетень науки и практики, №6, Россия Нижневартовск, 2022. - с.89-94

12. Маданбекова Э.Э. Решение краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений методом Галеркина с применением Maple [Текст] / Б.А. Байболотов, Э.Э. Маданбекова, К.А. Усенбаева, Н.Орузбаева //ТалМУдагы 2019-жыл “Региондорду өнүктүрүү жана өлкөнү санариптештирүү

жылына” арналган “Аймактарды жана санарип технологияларды өнүктүрүүдө бирдиктүү маалыматтык мейкиндикти түзүүнүн илимий-теориялык негиздери” аттуу республикалык илимий-практикалык конференция, Известия ВУЗов Кыргызстана, №5, 2019, -с. 3-6

13. Маданбекова Э.Э., Башкаруу системаларындагы математикалык моделдердин элементтери [Текст] / Э.Э. Маданбекова, А.Б. Байсеркеева, А.Т. Кочорбаева //Международная научно-практическая конференция посв. 70-летию кафедры “Математикии технологии обучения” и Торогельдиевой К.М.”Задачи и перспективы технологии обучения математики и естественных наук в условиях цифровизации, Известия ВУЗов Кыргызстана, №2,Бишкек,2022, с. 37-39

РЕЗЮМЕ

диссертации Маданбековой Эльмиры Эсенбековны на тему: «Оптимальное управление уровнем грунтовых вод при слоистом строении водоносных пластов» представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «01.02.05 − Механика жидкости, газа и плазмы».

Ключевые слова: алгоритм, водоносный пласт, коэффициент фильтрации, водопроводимость, уровень грунтовых вод (УГВ), оптимальное управление, горизонтальные и вертикальные дрены.

Объект исследования: являются оптимальное управление уровнем грунтовых вод при слоистом строении водоносных пластов.

Предмет исследования: построить математическую модель распределенного оптимального управления уровнем грунтовых вод в слоистых водоносных пластах и разработать алгоритмы численной реализации оптимизационных задач с применением метода регуляризации и математических методов.

Цель работы: разработать алгоритмов решения задач оптимального управления УГВ для случая слоистого строения водоносных пластов

Полученные результаты и их новизна: в диссертации разработаны устойчивые алгоритмы решения задач оптимального управления УГВ в слоистых пластах, доказано существование единственного оптимального управления решения начально-краевой задачи для системы дифференциальных уравнений фильтрации жидкости в многослойных средах, разработан комплекс программ для реализации алгоритмов прогнозных и оптимизационных задач. Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили достоверность и практическую значимость разработанных методов и алгоритмов.

Рекомендации: результаты исследований могут быть использованы при решении важнейших задач сельскохозяйственных, экологических, технических проблем Кыргызской Республики.

01.02.05 – суюктуктун, газдын жана плазманын механикасы адистиги боюнча физика-математика илимдеринин кандидаты илимий даражасын

алууга арналган Маданбекова Эльмира Эсенбековнанын «Көп катмарлуу жер кыртышындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу» деген темадагы диссертациясынын

Резюмеси

Ачкыч сөздөр: алгоритм, суулуу катмар, суу өткөрүүчүлүк, фильтрация коэффициенти, кыртыштагы суулардын деңгээли, оптималдуу башкаруу, горизонталдык жана вертикалдык дреналар

Изилдөөнүн объектиси: катмарланган жер кыртышындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу.

Изилдөөнүн предмети: көп катмарлуу жер кыртышындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруунун математикалык моделин жана жөнгө салуу методун колдонуу менен ишке ашыруучу алгоритмдерди түзүү.

Иштин максаты: суу өткөрүүчү чөйрө көп катмарлуу болгондо агуучу суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселелерин чыгаруу үчүн алгоритмдерди иштеп чыгуу.

Иштин илимий жаңылыгы: Диссертацияда катмарланган жер кыртышындагы суулардын деңгээлин оптималдуу башкаруу маселелерин чыгаруунун туруктуу алгоритмдери иштелип чыккан, көп катмарлуу чөйрөдөдөгү суулардын чыпкалануусун сүрөттөөчү дифференциалдык теңдемелер системасынын чыгарылышын пайдалануу менен оптималдуу башкаруунун жалгыз гана экендиги далилденген, прогноздоо жана оптималдоо маселелерин чыгаруунун программаларынын комплекси түзүлгөн. Ал программалар менен жүргүзүлгөн эксперименттер сунуш кылынган методдор менен алгоритмдердин тууралыгын жана практикалык маанилүүлүгүн ырастады.

Колдонуу аймагы: изилдөөлөрдүн натыйжаларын Кыргыз Республикасынын айыл чарба, экологиялык, техникалык проблемаларынын маанилүү маселелерин чечүүдө колдонууга болот.

Summary

of the dissertation by Madanbekova Elmira Esenbekovna on the theme: «Optimal control for the groundwater level in the layered structure of the aquifers» for the academic degree of the candidate of physical and mathematical sciences on specialty "01.02.05−Mechanics of liquids, gas and plasma".

Key words: algorithm, aquifer, filtration coefficient, water permeability, groundwater table (GWP), optimal control, horizontal and vertical drains

Object of research: are the optimal control of the groundwater level in the layered structure of aquifers.

Subject of study: to build a mathematical model for distributed optimal control of the groundwater level in layered aquifers and develop algorithms for the numerical

implementation of optimization problems using the regularization method and mathematical methods.

Goal of the work: work out algorithms for solving problems of optimal control of GWL for the case of a layered structure of aquifers.

Results and novelty: In this dissertation the stable algorithms for solving the problems of optimal groundwater table control in layered formations are developed, the existence of a single optimal control solution of unit boundary value problem for the system of differential equations of fluid filtration in multilayer media is proved, a set of programs for the implementation of predictive and optimization algorithms is developed. Conducted computational experiments have confirmed reliability and practical importance of the developed methods and algorithms/

Recommendations: the results of the research can be used in solving the most important problems of agricultural, environmental, technical problems of the Kyrgyz Republic.