

**“AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI”
QAPALI SƏHMDAR CƏMİYYƏTİ
MİLLİ AVİASİYA AKADEMİYASI**

EKOLOJİ PROSESLƏRİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

Dərslik

*Azərbaycan Respublikası Təhsil
Nazirliyinin 27.04.2018-ci il
tarixli F-298 nömrəli əmri ilə
dərslik kumu təsdiq edilmişdir.*

BAKI -2018

- R ə y ç i l ər :**
- İ.M.İsmaylov**, AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor
 - F.Ə.İmanov**, coğrafiya elmləri doktoru, professor (“Sukanal” ET və Layihə İnstitutu)
 - M.Q.Hacıbəyov**, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent (Milli Aviasiya Akademiyası)
 - İ.M.Abdullayev**, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent (Bakı Dövlət Universiteti)

Bədəlova A.N., Səfərov S.H., Ramazanov K.Ş. Ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi. Dərslik. Bakı, NAA, 2018, 458 s.

Dərslikdə ekoloji proseslərin modelləşdirilməsinin kompleks nəzəri, metodoloji və tətbiqi aspektləri təqdim olunub. Model və modelləşdirmə anlayışları, modelləşdirmə prosesi, modelləşdirmənin və riyazi modellərin təsnifatı, ekoloji proseslərin modellərinin tətbiq sahələri, ekoloji modelləşdirmə prosesində kompüter texnologiyalarının rolu, modelləşdirmə üsulları təhlil olunub. Modelləşdirmədə sistemli yanaşma, kompüterləşdirilmiş riyazi modellərin işlənilməsi mərhələləri barədə məlumat verilmiş, ekosistemin riyazi modelləşdirmə obyektini kimi tədqiqi və ekoloji proseslərin riyazi modelləşdirilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

Ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi problemlərinin əhatə dairəsinə daxil olan populyasiyaların dinamikasının, aqroekosistemlərdə baş verən proseslərin, ekologiyada ətraf mühitin çirklənməsi proseslərinin və ətraf mühitin çirklənməsindən yaranan iqtisadi ziyanların, təbiətdən istifadənin iqtisadi qiymətləndirilməsinin, meşə ekosistemlərində təbii yanğın təhlükələrinin qiymətləndirilməsinin səmərəli və operativ həyata keçirilməsinə imkan yaradan riyazi modellərin işlənilməsi, yoxlanılması və tətbiqi kimi məsələlərin həlli verilmişdir. Qlobal ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi məsələlərinin təhlilinə nəzəri cəhətdən baxılmış, biosferdə qlobal proseslərin imitasion modelləri, biosfer elementlərinin qlobal biogeokimyəvi dövrənin modelləri, suyun qlobal dövrənin modelləşdirilməsinin əsasları, yer kürəsinin quru səthi sularının və enerji balanslarının qlobal modelləşdirilməsi, qlobal su ehtiyatlarının riyazi modeli, qlobal iqlim dəyişmələrinin modelləşdirilməsi zəruriyyəti və modelləri barədə ümumi məlumatlar, onların inkişafının qısa tarixi, atmosferin ümumi sirkulyasiyası modellərinin əsasları və s. məsələlərin açıqlaması verilmişdir.

Dərslikdə öz əksini tapmış fiziki proseslərin mahiyyəti və onların riyazi izahı tələbələr üçün rahat qaydada mənimsənilə bilən formada verilmişdir. Dərslik azərbaycan dilində yazılmış ilk dərsliklərdən biridir və Milli Aviasiya Akademiyasında ekologiya mühəndisliyi ixtisası üzrə təhsil alan magistrantlar üçün nəzərdə tutulsa da, ekologiya, aqroekologiya, biologiya, iqtisadiyyat, hidrometeorologiya, kənd təsərrüfatı ixtisasları, riyazi modelləşdirmə kursunu öyrənən bakalavr və magistr tələbələri, doktorantları və müvafiq sahə mütəxəssisləri üçün də faydalı ola bilər.

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	7
I FƏSİL. MODEL VƏ MODELƏŞDİRMƏNİN ƏSASLARI	
1.1. Model və modelləşdirmə anlayışları.....	10
1.2. Modelləşdirmə prosesinin nəzəri və metodoloji əsasları.....	15
1.3. Modelləşdirmənin təsnifatı.....	32
1.4. Modelləşdirmə üsulları.....	46
1.5. Modelləşdirmənin tətbiqi sahələri.....	55
II FƏSİL. MODELƏŞDİRMƏDƏ SİSTEMLİ YANAŞMA	
2.1. Sistem anlayışı və mürəkkəb sistemlərin əsas xassələri.....	58
2.2. Sistemlərin təsnifatı	60
2.3. Sistemli yanaşmanın məsələləri və sistemli təhlilin üsulları	62
2.4. Elm sahələrində və sistemlərdə tətbiq olunan üsul və qaydalar	71
2.5. Ekologiyada sistemli yanaşma və modelləşdirmə.....	78
III FƏSİL. KÖMPÜTERLƏŞDİRİLMİŞ RİYAZİ MODELƏRİN İŞLƏNİLMƏSİ MƏRHƏLƏLƏRİ	
3.1. Modellərin işlənməsi mərhələlərinin əsasları.....	86
3.2. Modelləşdirmə məsələsinin qoyuluşu və keyfiyyət təhlili.....	87
3.3. Modellərin strukturunun işlənməsi və onların riyazi təhlili.....	89
3.4. Modelin alqoritminin işlənməsi və proqramlaşdırılması.....	90
3.5. Proqramın sazlanması, testlənməsi və sınağı.....	93
3.6. Modelin identifikasiyası və adekvatlığı məsələləri.....	94
3.7. Modelin həssaslığının təhlili.....	96
IV FƏSİL. EKOLOJİ SİSTEMLƏRİN RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ MƏSƏLƏLƏRİ	
4.1. Ekosistemin riyazi modelləşdirmə obyektini kimi tədqiqi.....	99
4.2. Ekoloji sistemlər mürəkkəb sistemlər kimi.....	102
4.3. Ekoloji sistemlərin öyrənilməsində sistemli yanaşma.	104

4.4. Riyazi ekologiyanın məsələləri.....	106
4.5. Bioloji sistemlərin və ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi.....	109
4.6. Ekologiyada modelləşdirmənin tətbiqi sahələri.....	113
4.7. Ekologiyada riyazi modelləşdirmənin inkişaf tarixi.....	116

V FƏSİL. EKOLOJİ PROSESLƏRİN RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ ÜSULLARI

5.1. Ekologiyada statistik modelləşdirmə.....	121
5.2. Ekologiyada dinamikı modelləşdirmə.....	142
5.3. Ekologiyada imitasion və kömpüter modelləşdirilməsi.....	148
5.4. Ekologiyada informasiya modelləşdirilməsi.....	158
5.5. Ekologiyada matrisa modeli.....	159

VI FƏSİL. POPULYASIYALARIN DİNAMİKASININ RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

6.1. Populyasiyaların dinamikalarının riyazi modelləşdirilməsinin əsasları.....	162
6.2. Müxtəlif məkan və şəraitdə populyasiyaların dinamikasının modeli.....	166
6.3. Populyasiyaların sayının məhdudlaşdırılmış artımının modeli.....	168
6.4. Populyasiyaların dinamikasının diskret modelləri.....	169
6.5. Növ daxili rəqabətin diskret və loqistik modelləri.....	173
6.6. Növlərarası rəqabətin riyazi modelləşdirilməsi.....	181
6.7. “Yırtıcı-qurban” tipli modellər.....	183

VII FƏSİL. AQRROKOSİSTEMLƏRİN RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

7.1. Torpaq-bitki-atmosfer sistemi aqroekoloji sistem kimi.....	190
7.2. İstifadə olunan modellərin təsnifatı.....	197
7.3. Kənd təsərrüfatı bitkilərinin dinamikı modellərinin növləri.....	200
7.4. Aqroekosistemlərin modellərinin blok-sxem formasında təqdimi	210
7.5. Dənli taxıl bitkilərinin tətbiqi riyazi modeli.....	215

VIII FƏSİL. SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNİN TULLANTILARININ SƏPƏLƏNMƏSİ ŞƏRAİTİNİN MODELLEŞDİRİLMƏSİ

8.1. Modelləşdirmənin metodiki əsası.....	242
8.2. Zərərli maddələrin atmosferdə səpələnməsinə təsir edən amillər.....	243
8.3. Zərərli maddələrin konsentrasiyasının və yayılma məsafəsinin hesablanması riyazi modelləri.....	247
8.4. Model vasitəsilə hesablama eksperimentləri.....	251

IX FƏSİL. TEXNOGEN QƏZALAR NƏTİCƏSİNDƏ ƏTRAF ATILMIŞ GÜCLÜ TƏSİRƏ MALİK ZƏHƏRLİ MADDƏLƏRİN MİQDARININ VƏ YAYILMA MİQYASININ RİYAZİ MODELİ

9.1. Modelin metodiki əsası.....	267
9.2. Güclü təsirə malik zəhərli maddələrin yayılmasına və zədələyici intensivliyinə təsir edən təbii amillər.....	269
9.3. Zəhərli kimyəvi maddələrin təsiredici parametrlərinin modelləşdirilməsi.....	275
9.4. Model vasitəsilə hesablama eksperimentlərinin aparılması.....	286

X FƏSİL. ƏTRAF MÜHİTİN ÇİRLƏNMƏSİNDƏN YARANAN İQTİSADI ZİYANLARIN RİYAZİ MODELLEŞDİRİLMƏSİ

10.1. Ekoloji təsirlərin və zərərlərin qiymətləndirilməsi meyarları və üsulları.....	300
10.2. Çirklənməyə görə ödənişlərin miqdarının müəyyənəndirilməsinin əsasları.....	302
10.3. Atmosfer havasının antropogen çirklənməsindən yaranan iqtisadi ziyanın modelləri.....	305
10.4. Sutarların çirklənməsinin qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri.....	312
10.5. Torpaq ehtiyatlarının çirklənməsinin iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modeli.....	318
10.6. Sosial ziyanların qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri.....	321
10.7. Təbiəti mühafizə fəaliyyətinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri.....	329

**XI FƏSİL. TƏBİƏTDƏN İSTİFADƏNİN İQTİSADI
QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN RİYAZI
MODELLƏŞDİRİLMƏSİ**

11.1. Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsi məsələləri.....	336
11.2. Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsinin əsas üsulları və növləri.....	340
11.3. Regional təbii ehtiyat yataqlarının qiymətləndirilməsi modeli.....	346
11.4. Su ehtiyatlarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri.....	353
11.5. Meşə ehtiyatlarından istifadəyə görə ekoloji-iqtisadi qiymətləndirmənin riyazi modeli.....	360
11.6. Heyvanat aləminin və biomüxtəlifliyin resurslarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modeli.....	363

**XII FƏSİL. MEŞƏ EKOSİSTEMLƏRİNDƏ TƏBİİ
YANĞIN TƏHLÜKƏLƏRİNİN
QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN RİYAZI
MODELLƏŞDİRİLMƏSİ**

12.1. Meşə yanğını təhlükəsi üzrə ABŞ-da hazırlanmış modelin əsasları	365
12.2. Meşə yanğını təhlükəsi üzrə Rusiyada işlənmiş riyazi modellər.....	366
12.3. Avstraliyada işlənmiş meşə yanğını təhlükəsi modeli.....	371
12.4. Kanadada işlənmiş meşə yanğını təhlükəsinin qiymətləndirilməsinin riyazi modeli	373

**XIII FƏSİL. QLOBAL EKOLOJİ PROSESLƏRİN
MODELLƏŞDİRİLMƏSİ**

13.1. Qlobal ekoloji proseslərin modelləşdirilməsinin metodologiyası.....	377
13.2. Roma klubunun modellərinin əsasları.....	378
13.3. Biosferdə qlobal proseslərin imitasion modelləri.....	384
13.4. Suyun qlobal dövrünün modelləşdirilməsi.....	407
13.5. Qlobal iqlim dəyişmələrinin modelləşdirilməsinin əsasları.....	421
İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI.....	448

GİRİŞ

Müasir dövrdə istifadə olunan ehtiyatların və ətraf mühitə təsirlərin əhəmiyyətli artımı, istifadəsi labüd olan çox böyük informasiya axını şəraitində qərarların qəbul edilməsinin ənənəvi empirik üsulları öz məhdudiyyətlərini göstərməkdədir. Bunlar isə elmi tədqiqatların yeni və səmərəli üsullarının istifadəsini və tətbiqini tələb edir. Belə səmərəli üsullara tədqiqatların riyaziləşdirilməsini aid etmək olar. Bu isə ilk növbədə tədqiq olunan prosesi lazımi səviyyədə dəqiq və adekvat əks etdirən riyazi modelin hazırlanmasını nəzərdə tutur. Belə modellərin mövcudluğu baxılan proseslərin sonrakı tədqiqini qarşıya qoyulan konkret məsələnin həlli üçün riyazi modellə əvəz edilməsi imkanları yaranır.

Modelləşdirmə - insan fəaliyyətinin ən müxtəlif sahələrində (elmdə, texnikada, səhiyyədə, astronomiyada, hərbində və s.) istifadə olunan obyektlərin (sistemlərin, proseslərin, hadisələrin) təhlilinin və sintezinin alətidir. Artıq müasir elmi riyazi modelləşdirmə üsullarını geniş tətbiq etmədən təsəvvür etmək mümkün deyil. Dərketmənin, konstruksiyaların hazırlanmasının, layihələndirilmələrin bu üsulu həm nəzəriyyənin, həm də təcrübənin bir çox dəyərini özündə cəmləşdirmişdir.

Riyazi modelləşdirmə elementləri dəqiq elmlərin yaranmasının ilk dövrlərindən istifadə olunmağa başlamışdır. Təsədüfi deyil ki, bir sıra hesablaşma üsulları onları müəyyən etmiş dahi alimlərin adları, “alqoritm” sözü isə orta əsrlər alimi Əl-Xərazminin adı ilə bağlıdır. Riyazi modellər birinci dəfə olaraq 1930-cu illərdə Böyük Britaniyada havadan müdafiə sistemlərinin yaradılması vaxtı istifadə edilmişdir. Riyazi modelləşdirmə metodologiyasının ikinci “zühuru” 1940-cı illərin sonuna-1950-ci illərin əvvəllərinə təsadüf edir. Müasir dövrdə riyazi modelləşdirmə öz inkişafının prinsipinə yeni inkişaf mərhələsinə qədəm qoymuş və informasiya cəmiyyətinin strukturlarına “qoşulmaqdadır”.

Modelləşdirmə həm də öyrətmə, təlim, təhsil vasitəsi kimi də geniş istifadə olunur. Bu vaxt tədqiqatçıların sərəncamında fəlsəfi, sistemli, funksional-normativ, ekspert, qrafoloji, empirik, oyun və s. modelləşdirilməsi kimi üsulların geniş spektri olur.

Təəcüblü deyil ki, riyazi modelləşdirmə metodologiyası qızğın surətdə inkişaf etməklə, yeni yeni sferaları əhatə edir. Bununla əlaqədar olaraq “riyazi iqtisadiyyat”, “riyazi kimya”, “riyazi linqvistik” və s. yeni elmi istiqamətlər yaranmışdır.

Ekologiya ətraf mühit barədə elm olmaqla, ən gənc elmi istiqamətlərdən biridir. Buna baxmayaraq ekologiyanın formalaşması və təşəkkül tapması biologiya, coğrafiya, fizika, kimya və s. kimi daha inkişaf etmiş tədqiqat istiqamətləri bazasında baş vermişdir. Təbii ki, digər elmlərə əsaslanmış ekologiya elmi onlarda istifadə olunan elmi tədqiqatların qayda və üsullarını özündə cəmləşdirmiş və misal kimi artıq “riyazi ekologiya” istiqamətinin formalaşmasını vurğulamaq olar.

Bunlarla bərabər, bir tərəfdən kömpüter texnikasının inkişafı, digər tərəfdən işlənmiş ədədi üsulların mövcudluğu bir çox hallarda riyazi üsulların tətbiqində tərəqqiyə kömək edir. Bu aspektdə ekoloji tədqiqatlarda da bütün istiqamətlər üzrə kömpüter texnikasının imkanlarından istifadənin genişlənməsinin açıq-aydın görünən tendensiyası müşahidə olunur.

Dərsləkdə ekoloji modelləşdirmənin əsas məsələlərinə aid nəzəri və metodiki materiallar şərh edilmişdir. Müəlliflər tələbələrə riyazi modellərin hazırlanması məsələlərinin araşdırılmasında köməklik göstərməyə çalışmış və buna görə də dərsliyə öz tədqiqatlarının nəticələrini daxil etməyi məqsəduyğun hesab etmişlər.

Dərsliyə şərti olaraq 4 hissəyə ayırmaq olar. Birinci hissə model və modelləşdirmənin əsaslarına, modelləşdirmənin və riyazi modellərin təsnifatına, modelləşdirmədə sistemli yanaşmaya, kömpüterləşdirilmiş riyazi modellərin işlənilməsi mərhələlərinə həsr edilmişdir. İkinci hissədə ekoloji sistemlərə mo-

delləşdirmə obyektini kimi baxılmış və ekoloji proseslərin riyazi modelləşdirilməsi üsullarının əsasları verilmişdir. Üçüncü hissədə müxtəlif ekoloji hadisələri əhatə edən proseslərin (məsələn, populyasiyaların dinamikasının, aqroekosistemlərin dinamikasının), ətraf mühitin çirklənməsi şəraitinin, ətraf mühətdən istifadə və onun mühafizəsinin iqtisadi aspektləri, meşə ekosistemlərində təbii yanğın təhlükələrini əks etdirən proseslərin modelləşdirilməsi məsələləri öz əksini tapmışdır.

Dördüncü hissədə qlobal ekoloji proseslərin modelləşdirilməsinin nəzəri əsasları işıqlandırılmışdır.

I FƏSİL. MODEL VƏ MODELLƏŞDİRMƏNİN ƏSASLARI

1.1. Model və modelləşdirmə anlayışları

Məlumdur ki, hər bir elm təbiətin, yaxud cəmiyyətin müəyyən məsələlərinin cavabını, həllini verməyi bacarmalıdır. Qədim filosoflar hesab edirdilər ki, təbiəti ancaq məntiq və düzgün düşüncələr əsasında, yəni müasir terminologiyaya görə dil modellərinin köməyi ilə təsvir etmək mümkündür. Uzun müddədən, yəni bir neçə yüz il bundan sonra isə ingilis Elmi Cəmiyyətinin şüarı belə olmuşdur – **“sözlə heç bir fikir ifadə etməmək”**. Onun tərəfindən ancaq təcrübi və ya riyazi hesablamalarla təsdiq olunmuş müddəalar qəbul olunurdu.

Ümumiyyətlə isə, elmi tədqiqatların aparılmasında modelləşdirmə hələ qədim zamanlardan tətbiq olunmağa başlamış, tədricən elmi biliklərin yeni sahələrini əhatə etməyə başlamışdır. Belə ki, elm və texnika inkişaf etdikcə təbiət və insan cəmiyyəti üzərində birbaşa təcrübələr qoyula bilməyən obyektlərin tədqiqi zəruriliyi ilə rastlaşmağa başlamışlar. Belə hallarda müəyyən reallığı lazımi dəqiqliklə imitasiya edən riyazi model sistemləri vasitəsilə riyazi modelləşdirmə və eksperimentlərin aparılması təhlillərin vahid mümkün vasitələrinə çevrilməyə başlamışdır.

Modelləşdirmənin geniş tətbiq olunduğu sahələrə texniki konstruksiyaların yaradılmasını, tikinti və memarlığı, astronomiyayı, fizikiyanı, kimyanı, biologiyayı, və nəhayət ictimai elmləri aid etmək olar. Müasir elmin bütün sahələrində modelləşdirmə üsulunun ən böyük uğurları və tanınması praktiki olaraq XX əsrə təsadüf edir. Lakin, modelləşdirmə metodologiyası uzun müddət ərzində ancaq ayrı-ayrı elm sahələri tərəfindən inkişaf etdirilmiş və bu səbəbdən də vahid anlayışlar sistemi, vahid terminologiya mövcud olmamışdır. Uzun müddədən sonra tədricən modelləşdirmə elmi dərkətmənin universal üsulu kimi qəbul edilməyə başlamışdır.

Məsələn, iqtisadi problemlərin öyrənilməsi mexanizmini aydın təsəvvür etmək üçün belə bir məsələyə müraciət edək. Tutaq ki, müəyyən aqrofirmanın optimal fəaliyyətinin təşkili ilə məşğul olmalıyıq. Başqa sözlə, hansı sahələrdə bitkiləri becərmək lazımdır, heyvandarlıq və quşçuluqla nə dərəcədə məşğul olunmalıdır, hansı həcmlərdə məhsul hazırlanmalıdır və s. kimi məsələlərə aydınlıq gətirilməlidir. Hər şeydən öncə qəbul ediləcək qərarlara hansı amillərin daha təsirli olduğu dəqiq ayırd edilməlidir. Baxılan halda torpaq sahəsinin miqdarı, bitkilərin məhsuldarlığı və onlara tələbat, ət və süd məhsullarına, yumurtaya olan tələbatlar, heyvandarlıq və quşçuluğun təşkili üçün imkanlar və bəşqaları belə amillərdəndir.

Digər bir analogiyaya baxaq. Təsəvvür edək ki, sahildən Xəzər dənizinə kifayət qədər böyük daş atılmışdır və bu zaman dənizdə yaranan dalğaların yayılmasını tədqiq etmək lazımdır. Nəzəri cəhətdən daşın düşməsi dənizin bütün səthində rəqslər əmələ gətirəcəkdir. Ancaq, tamamilə aydındır ki, elə daşın düşdüyü yerdən artıq on metrərlə aralıda suyun rəqsi hərəkəti nəzərə alınmaz dərəcədə olacaqdır. Beləliklə, praktiki məqsədlər üçün bütün su səthinin deyil, onun çox kiçik hissəsinə təsir göstərilir. Müvafiq olaraq qəbul edilən qərarlara təsir göstərən amilləri ayırarkən, elələrini nəzərə almaq lazımdır ki, təsiri hiss olunsun. Sonra isə bu amillərin təsirinin necə bürüzə verməsini aydınlaşdırmaq lazımdır.

Beləliklə, baxılan məsələnin müəyyən dərəcədə hər hansı xassələri və hadisələri modelləşdirən ayrı-ayrı modellər bütöv sistemi işıqlandıra bilər.

Model özünəməxsus dərkətmə aləti rolunda çıxış edir və tədqiqatçı onun köməyi ilə özünü maraqlandıran obyektə öyrənir. Başqa sözlə, modelləşdirmə prosesi üç əsas elementi özündə cəmləşdirir: *orijinal (tədqiqat obyektini) – qnoseoloji subyekt (tədqiqatçı) – model (öyrənilənlə öyrənən arasında vasitə)*. Ümumiyyətlə isə, modelləşdirmə metodologiyasında kifayət qədər özünü təkmilləşdirmə imkanları nəzərdə tutulmuşdur.

Modelləşdirmə üsulunun ancaq bu xüsusiyyəti abstraksiyaların, analogiyaların, fərziyyələrin və dərkətmənin digər kateqoriya və üsullarının spesifik formalarını təyin edir.

Elmi tədqiqatların universal üsulu rolunda çıxış etməklə, modelləşdirmə bir sıra özünəməxsus xüsusiyyətlərə malikdir:

-modelləşdirmə, prosesləri həyata keçənə qədər öyrənməyə imkan verir. Bu vaxt mümkün mənfi fəsadlar aşkarlanmağa bilər ki, bu da onun real özünü biruzə verməsinə qədər ləğvinə və ya təsirinin azaldılmasına səbəb ola bilər. Məsələn, fəsadların proqnozlaşdırılması modelləşdirmənin ən vacib məsələlərindən (məqsədlərindən) biridir:

-modelləşdirmə, prosesi daha tam formada öyrənməyə imkan verir, belə ki, elementlərin aşkar edilməsi ilə bərabər, onlar arasında əlaqələrin mövcudluğu da müəyyənləşdirilir;

-model vasitəsilə təqdim olunan proses relyefli görünür, bu da nəzəri təhlili və deməli, onun təkmilləşdirilməsi yollarının əsaslandırılmasını asanlaşdırır;

-modelləşdirmə vaxtı tədqiqat məqsədləri üçün vəziyyət sadələşdirildiyinə görə təhlilin kəmiyyət üsullarının tətbiqi onların əsasında elmi əsaslandırılmış məlumatların alınması mümkün olur.

Model və modelləşdirmə anlayışları. Model və modelləşdirmə - universal anlayışlardır, istənilən peşə sahəsində, obyektin, prosesin, hadisənin dərk edilməsinin ən güclü üsullarının atributlarıdır. Model və modelləşdirmə, model və modelləşdirmənin nəticələrinin harada tətbiq olunmasından asılı olmayaraq predmetlərarası problemlərin həlli üzərində işləyən müxtəlif sahə mütəxəssislərini birləşdirir.

Model özünəməxsus bir idrak vasitəsidir. Tədqiqatçı onu maraqlandıran obyektə məhz onun köməyi ilə öyrənir. "Model" termini insan fəaliyyətinin müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunur. Hətta o dərəcədə çox istifadə olunur ki, modellər "dünyasının" harada qurtardığını müəyyənləşdirmək və idrak proseslərində nəyin modelləşdirmə olmadığını demək o qədər

də asan olmur.

“**Model**” sözü (latınca *modulus*, fransızca. – **modele**) “ölçü”, “qayda”, “hər hansı bir əşya ilə oxşarlıq”, “surət”, “obraz”, “cizgi” mənasını verir. İlk dövrlərdə müəyyən vəziyyətlərdə başqa obyektə əvəz edən köməkçi vasitə model adlanırdı. Məsələn, maneken müəyyən mənada insanı əvəz etməklə insan bədəninin modeli olur.

Model anlayışının geniş yayılmasına baxmayaraq elmi ədəbiyyatda onların birmənalı izahı yoxdur. Elmi nöqtəyindən nəzərdən modelin təyin edilməsinin aşağıdakı anlayışları formalaşmışdır:

-model maddi və ya xəyali göstərilə bilən elə obyektədir ki, tədqiqat prosesində obyekt orijinalı əvəz edir və onun bilavasitə öyrənilməsi obyekt orijinalı haqqında yeni biliklər verir;

-model – obyekt-əvəzləyicidir və o, müəyyən şəraitdə obyekt-orijinalı əvəz edər, obyektin bizi maraqlandıran xassələrini və xarakteristikalarını təkrar emal edə bilər, bu vaxt rahatlığın əhəmiyyətli üstünlüyü (əyanilik, əməliyyatların asanlıığı, sınaqların asan aparılması və s.) vardır;

-modeli digər sistemə (orijinala və ya obyektə) müəyyən nisbətdə yerləşən xəyali təsvir olunan və ya real mövcud olan istənilən sistem kimi təyin etmək olar;

-model sadələşdirilmiş «qablaşdırılmış» bilikidir və özündə bu və ya digər əşyanın, hadisənin bu və ya digər ayrı-ayrı xassələrini əks etdirən və onlar barədə tam müəyyən və məhdud informasiya daşıyır. Bu sadələşdirilmələr bilərəkdən sistemdən bir sıra elementlərin və əlaqələrin xaric edilməsi ilə həyata keçirilir və nəticədə yeni alt sistem alınır. Digər tərəfdən, model müəyyən mənada orijinalı düzgün əks etdirməlidir;

-model – köməkçi obyektədir, dərk olunan obyektə müəyyən obyektiv uyğunluqda yerləşir və dərk etmənin ayrı-ayrı mərhələlərində onu əvəz edə bilər;

-model – xəyalən təqdim oluna bilən və maddi həyata keçirilən sistemdir və tədqiqat obyektini əks etdirmək və təkrar

emal etməklə, onu elə əvəz etməyə qadirdir ki, modelin öyrənilməsi bu obyekt barədə yeni informasiya versin. Ancaq bu əlavə yeni informasiyanın alınması xatirinə modelləşdirmə tətbiq olunur;

-model – riyazi modelləşdirmədə bir abstrakt riyazi strukturun digər abstrakt struktura əks etdirilməsinin, ya da ikinci modelin termin və obrazlarında birinci modelin interpretasiyasının nəticəsidir.

Burada qeyd etmək olar ki, hansı dildən istifadə etməsindən asılı olmayaraq modeldə onun mənbəyi və əsası rolunda çıxış edən informasiya ilə bərabər, insanın əvvəllər bilmədiyi kodlaşdırılmış və yeni bilgilər də mövcuddur.

İstənilən modelin əsas xassələrinə oxşarlıq, adekvatlıq, yaxınlıq, sadəlik, məqsədyönlük, sonluq, informativlik, tamlıq, qapalılıq və s. aiddir.

Beləliklə, modellərin yaradılmasına və öyrənilməsinə yönələn insan fəaliyyətinə **modelləşdirmə** deyilir. Modelləşdirmə üsulu bir tədqiqat aləti kimi insanın təbiət və cəmiyyətin inkişaf qanunauyğunluqlarını dərk etməsi prosesində, ətraf aləmin praktiki dəyişdirilməsi yollarının axtarılmasında mühüm yer tutur. Son illər kömpüter texnologiyasının sürətli inkişafı ilə əlaqədar olaraq modelləşdirməyə təkcə fiziklərin, mexaniklərin deyil, ekoloqların, iqtisadçıların, sosioloqların, demoqrafların və digər elmlərin nümayəndələrinin marağı daha da artmışdır. Yeni elmi biliklər alınması üsullarının, o cümlədən modelləşdirmənin tətbiqi istənilən elmi istiqamətin inkişafı üçün zəruri şərtlərdəndir.

Modelləşdirmə üsulu və vasitələri həm yeni faktların izahında, həm də idarə etmə qərarlarının qəbul edilməsində səmərəli surətdə müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur. Modelləşdirmə həm ayı-ayrı elmi istiqamətlərin ümumi cəhətlərini, həm də onların məzmun spesifikasiyasını nəzərə almağa imkan verdiyindən, bu üsulun köməyi ilə elmin mühüm sahəsini-müasir elmi biliklərin sintezi məsələsini həll etmək mümkün olmuşdur. Mahiyyət

etibarı ilə modelləşdirmə anlayışı elmi idrakla eyniləşdirilir, obyektə dərk etmək-onu modelləşdirmək kimi qəbul edilir.

Modeldə olduğu kimi modelləşdirmə anlayışının geniş yayılmasına baxmayaraq elmi ədəbiyyatda onların birmənalı izahı yoxdur. Aşağıda onların bir sıra izahları verilmişdir:

-modelləşdirmə – insan fəaliyyətinin müxtəlif sahələrində (elm, texnika, tibb, kimya, hərbi iş və s. sahələrdə) istifadə olunan obyektlərin (sistemlərin, proseslərin, hadisələrin) təhlili və sintezi alətidir;

-modelləşdirmə – modellərin işlənməsi, istifadəsi və təkmilləşdirilməsidir;

-modelləşdirmə – modelin işlənməsi, tədqiqi və model informasiyasının orijinala yaymasıdır;

Ümumiyyətlə isə, modelləşdirmə abstraktlaşdırma, ümumiləşdirmə, formalizasiya və s. kimi (təfəkkür qabiliyyətli) prosedurlarla əlaqəlidir.

1.2. Modelləşdirmə prosesinin nəzəri və metodoloji əsasları

Modelləşdirmə vaxtı analogiyalardan istifadənin əsasları. Bir daha qeyd etmək olar ki, modelləşdirmə elmi tədqiqatların ən güclü vasitələrindən biridir və nəzəri və eksperimental xarakterli çətinliklər səbəbindən birbaşa öyrənilməsi mümkün olmayan real hadisələrin öyrənilməsinə imkan verir. Buna görə də modellərin tərtibi ideallaşdırma prosesi ilə əlaqəlidir və **idrak nəzəriyyəsinin** əhəmiyyətli zəncir həlqəsidir.

Beləliklə, modelin modelləşdirilən obyektə münasibəti bərabərlik (eynilik) yox, analogiya münasibətidir. Analogiya anlayışı bir neçə mənada işlədilir. Birincisi, analogiya altında müqayisə olunan obyektlər arasında oxşarlıq münasibəti başa düşülür. İkincisi, bəzi hallarda bu anlayış analogiyaya görə nəticə çıxarmanın sinonimi kimi işlədilir. Əgər, müqayisə edilən obyektlərdə, əşyalarda və ya hadisələrdə ümumi xassələr ən əhəmiyyətli sıralara aid olarsa və lazımi səviyyədə çoxsaylı və

müxtəlif olarsa, ikinci haldakı alınan nəticələr daha doğru olacaq. Ümumiyyətlə, analogiyanı birinci haldakı mənada, yəni, tədqiq olunan obyektlər arasında faktiki oxşarlıq münasibəti kimi başa düşürlər. Əslində, oxşarlıq münasibətlərinin, ayrılıq münasibətlərinin, həm də əvvəlcədən məlum olmayan münasibətlərin vəhdətliyidir (bütövlüyüdür). Məhz axırncı xassə idrak prosesi üçün ən vacibdir, belə ki, o, modelləşdirilən sistem barədə yeni məlumatların alınması üsulunun, yəni modelləşdirilmənin tətbiqi üçün əsasdır.

Sistemlər arasındakı oxşarlıq aşağıdakı müxtəlif səviyələrdə özünü biruzə verə bilər:

-müqayisə olunan obyektlərin verdiyi nəticələr səviyyəsində;

-nəticələrə gətirib çıxaran davranış və ya funksiyalar səviyyəsində;

-bu funksiyaların yerinə yetirilməsini təmin edən strukturlar səviyyəsində;

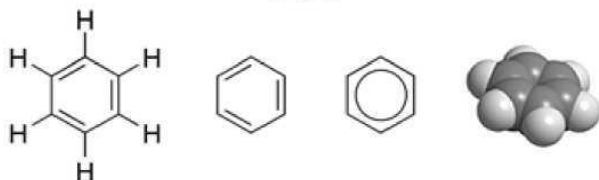
-bu strukturlardan ibarət olan materiallar və ya elementlər səviyyəsində.

Analogiya üsulunun elmi tədqiqatların digər üsulları ilə sıx əlaqədə tətbiq edilməsi onu fərziyyələrin axtarışı, nəzəriyyələrin tərtibi, elmi kəşflərin səmərəli vasitəsi edir.

Analogiya üsulunda assosiativ analogiya anlayışından da istifadə olunur. Bu anlayışa görə, onun altında təbiətinə görə çox müxtəlif hadisələr və ya obyektlər birləşə bilər. Buna ən parlaq nümunə kimi, alman kimyaçısı F.A.Kekulenin benzolun struktur düsturunun yaradılmasını aid etmək olar. O, bu nəticəyə zoparkda bir-biri ilə üzük kimi yapışmış meymunları gördükdən sonra gəlmişdir (şəkil 1.1).

Müəyyən bir maddi konstruksiyanın model olması, yəni, müəyyən nisbətdə orijinalı əvəz edilməsi üçün *oxşarlıq münasibətləri* müəyyən edilməlidir. Belə oxşarlığın müəyyənləşdirilməsinin müxtəlif qaydaları mövcuddur və onlar modellərə hər qayda üçün spesifik olan xüsusiyyətləri verir. İlk əvvəl bu

oxşarlıq modelin yaradılması prosesində müəyyənləşdirilir və **düz oxşarlıq** adlanır. Bunlara nümunə kimi, fotosəkilləri, binaların maketini, kuklları və s. aid etmək olar.



Şəkil 1.1. Benzolun struktur düsturunun zooparkdakı meymunlarla analogiyası sxemi

Model və orijinal arasında oxşarlığın ikinci növü **dolayı oxşarlıq** adlanır. Belə hallara təbiətdə çox rast gəlinir. Onlara nümunə kimi rəqqasla elektromaqnit dövrəsi arasındakı elektromexaniki analogiyanı göstərmək olar. Dolayı oxşarlığa malik olan modellərin və elm və praktikada analogiyaların (dolayı oxşarlıq modellərinin) rolu çox böyükdür. Məsələn, analoq hesablama maşınları demək olar ki, istənilən differensial tənliyin həllini tapmağa imkan verir və beləliklə, bu tənliklə təsvir olunan prosesin analoqundan, yəni, modelindən ibarət olur.

Üçüncü növ oxşarlıq **şərti oxşarlıq** adlanır, o, nə düz, nə də dolayı oxşarlıq deyil və razılaşma nəticəsində müəyyənləşdirilir. Onlara nümunə kimi pulu (dəyər modeli), şəxsiyyət və

siqəsini (sahibin modeli), bütün mümkün ola bilən siqnalları (məlumatvermə modeli) aid etmək olar.

Modelləşdirmənin nəzəri əsasları. Beləliklə, modelləşdirmə prosesi analogiyaya və elmi fərziyyələrin konstruksiyalarının yaradılmasına görə nəticə çıxarılmasını nəzərdə tutur. Modelləşdirmə mürəkkəb obyektlərin, hadisələrin və proseslərin sadələşdirilmiş imitasiyası yolu ilə (natur, riyazi, məntiqi) onun tədqiqat üsulu kimi obyekt-analoqla oxşarlıq nəzəriyyəsinə əsaslanır.

Məlumdur ki, cəmiyyət özünü, fəaliyyətinin müxtəlif tərəflərini təhlil etməsə, özünü nəzarətdə saxlamasa və gələcəyə ağılla və ya məntiqlə baxmasa inkişaf edə bilməz. Belə təhlillərin aparılması səmərəli olmaq üçün cəmiyyət dəqiq, obyektiv məlumatlara əsaslanmalıdır, yəni, informasiya baza, sosial baza lazımdır. Kəmiyyət təhlilinə məruz qala bilən problemlər toplusu formalizə oluna, rəqəmlər dili ilə ifadə edilə və riyazi modelləşdirmənin köməyi ilə EHM-lərdə emal oluna bilinər. Təbii ki, bu vaxt ən müxtəlif model növləri lazımdır və onların funksiyalarına aid etmək olar:

- fəaliyyətdə olan sistemin dərk edilməsinin dərinləşdirilməsi;

- modellərin əsas parametrlərinin və onların sonrakı inkişaf yollarının təyin edilməsi;

- orjinal və modelin müqayisəli təhlilinin aparılması, onların keyfiyyət xarakteristikalarının aşkar edilməsi.

Modelləşdirmə - çoxfunksionallı tədqiqatlardır və mövcud və ya yeni yaradılan obyektlərin təyini və dəqiqləşdirilməsi üçün tətbiq olunur. Onun əsas elmi məsələsi modelin mövcud obyektə oxşarlığı əsasında yenidən emalıdır. Model orjinala oxşar olmalıdır, lakin onun tam analoqu olmamalıdır (bu əsas şərtədir), yoxsa belə halda modelləşdirmə öz mənasını itirir. Modelin orijinaldan əsas fərqi – modelin başlanğıc məlumatlarına təsir etməyən çevik proqnostik dəyişmə qabiliyyətinə malik olmasıdır.

Geniş mənada isə modelləşdirmə çoxplanlı tədqiqat üsulu, dərketmənin yollarından biridir. O, real mövcud olan predmetlərin, hadisələrin, sosial proseslərin, üzvi və qeyri-üzvi sistemlərin tədqiqatını nəzərdə tutur. Bu aspektdən modelləşdirmənin tətbiq sferalarının sərhədləri demək olar ki, yoxdur. Modelləşdirmə tərəfindən bütün proseslər əhatə olunur. Lakin, bu o demək deyil ki, modelləşdirmə dərketmənin tək və müfəssəl üsuludur.

Modelləşdirmə problemi üç qarşılıqlı əlaqəli məsələdən ibarətdir:

- yeni (və ya məlum olan modelin adaptasiyası) modelin tərtibi;
- modelin tədqiqi (tədqiqat modelinin işlənməsi və ya adaptasiya, tanınmış olanın tətbiqi);
- modelin praktikada və ya nəzəriyyədə istifadəsi.

Modelləşdirmə fəaliyyət mərhələsi kimi sistemin və ya obyektin vəziyyətinin yaxşılığa doğru dəyişməsinə istiqamətləndirici rolunda çıxış edir. Nəzərə almaq lazımdır ki, modelləşdirmə digər ümumi elmi və xüsusi üsullarla birlikdə, elmlərarası yanaşma əsasında tətbiq olunur. Çoxplanlılığı ilə fərqlənən global problemlərin tədqiqi üçün istifadə edilərkən modelləşdirmə çoxmodellə quruluşa malik olur.

Modelləşdirmə metodologiyası. Model naməlum hadisəni məlum olan digəri ilə müqayisə etmənin köməyi ilə izah və ya təsvir etmə məqsədlərinə xidmət etdiyi üçün modelləşdirmə üsulunun korrekt tətbiqi baxılan proseslərin şəraitlərini və sərhədlərinin aydın olaraq formalaşdırmasını nəzərdə tutur.

Tanınmış metodoloq B.A.Ştoff hesab edir ki, modelləşdirmə prosesində aşağıdakı şərtlər mütləq yerinə yetirilməlidir:

- model və orijinal arasında oxşarlıq var və onun forması aşkar ifadə edilib və dəqiq yazılıb (*əks olunma və ya dəqiq-ləşdirilmiş analogiya*);
- model elmi dərketmə prosesində öyrənilən obyektin əvəzləyicisidir (*reprezentativlik şərti*);

- modelin öyrənilməsi orijinal barədə informasiyanın alınmasına imkan verir (*ekstrapolyasiya şərti*);

Bir tədqiqat üsulu kimi modelləşdirmə özündə iki ardıcıl mərhələni birləşdirir: modelin qurulması prosesi və modelin köməyi ilə obyekt - orijinalın öyrənilməsi prosesi. Bu mərhələlər qarşılıqlıdırlar və modelin qnoseoloji əhəmiyyətini şərtləndirir. Onlar müxtəlif tip modellərdə müxtəlif dərəcədə təmsil olunmuşlar.

İstənilən elmi bölmə keyfiyyət təsvirlərdən kəmiyyət təsvirlərinə keçərkən elə bir səviyyəyə çatır ki, nəzəriyyə ilə eksperiment arasındakı əlaqələrin izahı üçün ən təsirli vasitə riyazi aparatdan istifadə etmə olur. Belə riyazi aparatlara riyazi modelləşdirməni və riyazi modelləri aid etmək olar.

Riyazi modelləşdirmə elmi-texniki tərəqqinin ən vacib nailiyyətlərindən biridir və hadisənin (prosesin) məğzinə daha dərin daxil olmağa və xarici təsirlərin sistemə təsirlərini öncədən söyləməyə imkan verir. Bu, birbaşa eksperimentlərin aparılmasının mümkünsüzlüyü və ya çox maliyyə tələb etməsi, və ya da belə eksperimentlərin əvvəldən aşkarlanmayan (gözlənilməyən) fəsadlarının yaranması mümkünlüyü hallarında xüsusilə də vacibdir.

Riyazi modelləşdirmənin məğzi riyazi simvolların köməyi ilə öyrənilən sistemin mücərrəd sadələşdirilmiş oxşarının qurulmasıdır. Sonra ayrı-ayrı parametrlərin qiymətlərini dəyişməklə belə bir süni sistemin özünün necə aparması tədqiq olunur, yəni, son nəticə necə dəyişir.

Riyazi modelləşdirmədə obyektin tədqiqi riyaziyyat dilində formulə edilmiş model vasitəsilə bu və ya digər riyazi üsullardan istifadə etməklə həyata keçirilir. Riyazi modelləşdirməyə klassik misal mexanikanın əsas qanunlarının riyazi vasitələrlə təsviri və tədqiqidir.

İstənilən problemləli vəziyyət obyektiv və subyektiv amillərlə şərtləndirilir. Bu vaxt obyektiv amillərə prosesin inkişafı ilə onun stabilləşməyə cəhd göstərməsi və yaranan tələbatla on-

ların təmin edilməsi və s. arasında ziddiyyətlər aiddir. Subyektiv amillərə isə baxılan problemlə vəziyyətin əhəmiyyətliyinin, onun həllinin məqsədəuyğunluğunun, onun həll olunmasında marağı olan insanların motivləri, maraqlarının dərk edilməsi aiddir. Bütün bunlar riyazi modelləşdirmənin metodoloji əsaslarında vacib yer tutur.

Riyazi modelləşdirmə bütün mümkün proseslərin və hadisələrin riyazi vasitələrin köməyi ilə təsviri, əks etdirilməsi, öyrənilməsi və proqnozlaşdırılmasıdır. Riyazi modelin, daha doğrusu funksiyaların, tənliklərin, bərabərsizliklərin və digər münasibətlərin köməyi ilə inkişaf edilən istənilən təbiətli obyekt (fiziki, kimyəvi, iqtisadi, sosial və s.) müvafiq riyazi məsələləri tədqiq etmək və həll etmək yolu ilə anlaşıla bilər. Demək olar ki, riyazi modelləşdirmə bir tərəfdən fundamental araşdırmaların nəticələrinin xalq təsərrüfatı praktikasında tətbiqi vasitəsidir, digər tərəfdən ən fundamental işləmələrin intensivləşdirilməsi üçün alətdir.

Təəccüblü deyil ki, riyazi modelləşdirmə metodologiyası çox sürətlə inkişaf edir və ən yeni sferaları, yəni, texniki sistemlərin işlənilməsindən tutmuş, onları idarə etməklə, çox mürəkkəb iqtisadi və sosial proseslərin təhlilinə qədər məsələləri əhatə etməyə başlamışdır. Bunlarla əlaqədə olaraq “riyazi iqtisadiyyat”, “riyazi kimya”, “riyazi linqivistika” və s. kimi yeni elim bölmələr ortaya çıxmışdır və onların vasitəsilə müvafiq obyektlərin və hadisələrin modelləri, həmçinin bu modellərin tədqiqi üsulları öyrənilir.

Riyazi modelləşdirmənin elementləri dəqiq elmlərin əmələ gəlməsinin başlanmasından istifadə edilmişdir. Təsadüfi deyil ki, bir sıra hesablaşma üsulları onları kəşf edən alimlərin adı ilə bağlıdır (məsələn, Nyuton, Eyler), “alqoritm” sözü isə Əl-Xarəzminin adından yaranmışdır. Riyazi modellər ilk dəfə olaraq 1930-cu illərdə Böyük Britaniyada hava hücumundan müdafiə sistemlərinin yaradılması kimi praktiki məsələnin həlli üçün istifadə edilmişdir. Bu sistemin işlənilməsi üçün müxtəlif

ixtisaslar üzrə mütəxəssislər cəlb olunmuşdur. Sistem rəqibin mümkün fəaliyyətinə nisbətdə qeyri-müəyyənlik şəraitində işlənilməmişdir, buna görə tədqiqatlar adekvat riyazi modellər əsasında aparılmışdır.

Riyazi modelləşdirmə metodologiyasının ikinci “ad günü” XX əsrin 40-cı illərinin sonu – 50-ci illərin əvvəllərinə təsadüf etmiş və ən azı iki səbəblə şərtləndirilmişdir. Onlardan 1-cisi indiki zamana görə çox zəif olan, lakin tədqiqatçıları çox böyük həcmə malik hesablama işlərindən azad edən EHM-in (kömpüterin) meydana çıxması olmuşdur. 2-ci səbəb – misli görünməmiş sosial sifariş, yəni ənənəvi üsullarla realizasiya oluna bilməyən raket-nüvə bombasına qarşı müdafiə gümbəzinin yaradılması üzrə keçmiş SSRİ və ABŞ-da milli proqramların yerinə yetirilməsi olmuşdur. Riyazi modelləşdirmə bu məsələnin həllinin öhdəsindən gəlmişdir. Belə ki, riyazi modellərin köməyi ilə atom bombası partlayışları və raket və süni peyklərin uçuşları əvvəlcə EHM-lərdə “həyata keçirilmiş”, ancaq bundan sonra praktikada tətbiq edilmişdir. Bu uğurlar əhəmiyyətli dərəcədə riyazi modelləşdirmə metodologiyasının sonrakı nailiyyətlərini təyin etmişdir. Belə ki, inkişaf etmiş ölkələrdə heç bir irimiqyaslı texnoloji, ekoloji və ya iqtisadi layihələrin həyata keçirilməsində riyazi modelləşdirmədən istifadə edilmədikdə, onlara ciddi yanaşılır.

Müasir dövrdə riyazi modelləşdirmə metodologiyası özünün prinsipial vacib olan yeni inkişaf mərhələsinə qədəm qoymaqla, informasiya cəmiyyət adlanan struktura *“uyğunlaşdırılır” (daxil olur)*.

İnformasiya “resurslara” malik olmadan dünya ictimaiyyəti qarşısında duran getdikcə daha da böyüyən və müxtəlif növlü problemlərin həlli barədə düşünmək də olmaz. Lakin informasiya təhlil və proqnoz, qərarların qəbul edilməsi və onların yerinə yetirilməsinə nəzarət üçün bir çox hallarda az nəticə verir. Belə informasiya ”xammalın” hazır “məhsula”, yəni, dəqiq biliyə emalı üçün etibarlı üsul və qaydalar lazımdır.

Riyazi modelləşdirmə metodologiyasının tarixi sübut edir ki, o, informasiya texnologiyalarının və kompüterləşmənin, cəmiyyətin informasiyalaşdırılmasının tam prosesi üçün intellektual baza ola bilər və olmalıdır.

Artıq informasiya texnologiyaların inkişafı müasir kompüterlərdən istifadəyə əsaslanmış yüksək səmərəli modelləşdirmə üsullarının ortaya çıxmasına səbəb olmuşdur. Bunlara *Matlab*, *Labview*, *Scilab* kimi peşəkar proqramların tətbiqini aid etmək olar.

Riyazi modelləşdirmə metodologiyası modelləşdirmə prosesini ardıcıl həyata keçirilən üç tədqiqat mərhələsindən ibarət olduğunu əsaslandırır. Birinci mərhələ - mövcud praktiki problemdən nəzəri riyazi məsələyə keçid. İkinci mərhələ - bu məsələnin riyazi öyrənilməsi və həlli. Üçüncü mərhələ - yenidən riyazi nəticələrdən praktiki problemə keçmə.

Tədqiqatların məsələləri bir qayda olaraq bu və ya digər tətbiqi sahələrin tələbatlarından ortaya çıxır, bu vaxt real vəziyyətin hər-hansı bir riyazi formalizasiyası yerinə yetirilir. Məsələlər siyahısının müəyyənləşdirilməsi müəyyən sahənin mütəxəssisləri tərəfindən həyata keçirilir, sonradan riyazi modelləşdirmə mütəxəssislərinə ötürülür.

Metodoloji təhlil modelləşdirmə proseslərinin mərhələsini başlayır. O, nəzəri işləmələr üçün verilmiş tapşırığı təyin edir. Modelləşdirmə üsullarının inkişaf dinamikasının təhlili ən perspektiv üsulları seçməyə imkan verir.

Müəyyən riyazi model çərçivəsində istifadə olunan **tədqiqat üsulları** artıq bir çox hallarda riyaziyyatçıların işidir. Məsələn, iqtisadi modellərdə söhbət əsasən qiymətləndirmə üsulundan, fərziyyənin yoxlanılması üsulundan, bu və ya digər teoremin isbatından və s.-dən gedir. Birinci iki halda alqoritmlər riyaziyyatçılar tərəfindən işlənir və tədqiq olunur, lakin tətbiqçilər tərəfindən istifadə edilir, eyni zamanda sübut üsulu ancaq riyaziyyatçılara aiddir.

Tətbiq olunma şərti – axırıncı elementdir. Bu tam riyazi şərtidir. Riyaziyyatçı nöqteyi-nəzərdən müəyyən bir funksiyanın differensial tənliyinin sonlu-fərq üsulu ilə əvəz edilməsi əhəmiyyətli elm nailiyyət sayılsa da, sahə mütəxəssisi üçün bunun əhəmiyyəti yoxdur.

Riyazi modelləşdirmə metodologiyasının inkişafında müşahidə məlumatları, müxtəlif bilgilər, fərziyyələr çox vacib rol oynayır. Tədiqat modellərində həm mümkün, həm də arzu olunan ki, fərziyələrin payı mümkün qədər çox olsun. İdarəetmə modellərinə əks tələblər qoyulur. Bunlarla bərabər, modelləşdirmə vaxtı istifadə olunan bilgi və faktların yüksək etibarlığa malik olması zəruridir.

Modelləşdirmənin prinsipləri. Modelləşdirmə üçün baza rolunu oynayan əsas prinsiplərə baxaq. EHM-də alqoritmlərin tərtibi və proseslərin sonrakı emalı vaxtı əsas problem ondan ibarətdir ki, modelləşdirmə vaxtı real vaxt intervalında paralel baş verən proseslər çoxluğunun izlənməsi lazımdır. Bununla əlaqədar olaraq modelləşdirmənin alqoritmlərinin özünəməxsus xüsusiyyətləri var: -vaxta görə sistemin hərəkəti, vaxt koordinatlarının izlənməsi; modelləşdirilən sistemdən ibarət olan obyektlərin sinxron işinin təmini.

Müsair dövrdə hadisənin reqlamentləşdirməsinin dörd əsas prinsipi məlumdur: *dt* prinsipi; xüsusi vəziyyətlər prinsipi; işlərin ardıcıl aparılması prinsipi; obyektlərin paralel iş prinsipi. *dt prinsipi* ondan ibarətdir ki, modelləşdirmənin alqoritmisi ilə hərəkət imitasiya olunur, yəni sistemin vəziyyəti t , $t+dt$, $t+2dt$ kimi fiksasiya olunmuş vaxt intervallarında dəyişir. Bunun üçün vaxt sayğacı (model saati) yaradılır və o, öz qiymətini hər növbəti addımda dt qədər artırır. O, ən universal prinsipdir, çünki çox geniş sistemlər sinifi üçün tətbiq olunur, həm də reallaşmasında ən sadədir.

Xüsusi vəziyyətlər prinsipi o fərziyyə üzərində qurulur ki, sistem adı vəziyyətdə olarsa (məsələn, sistemin vəziyyətində dəyişmələr yoxdur), sistemin işinin modelləşdirilməsinə lüzum

yoxdur. Beləliklə, modelləşdirmə izolyasiya edilmiş və müəyyən vaxt anında aparılır. Bu prinsipin *dt* prinsipindən üstünlüyü EHM-lərdə hesablama vaxtına qənaət edilməsidir.

İşlərin ardıcıl aparılması prinsipi o fərziyyə əsasında qurulur ki, modelləşdirmə vaxtı ancaq bir təklifə baxılır və onun başa çatdırılmasından sonra, sonrakı təklifə baxılır. Bu prinsip modellərin imkanlarını güclü məhdudlaşdırır.

Yuxarıda göstərilən üç prinsip bir yerdə tətbiq olunur, bu, isə tədqiq olunan obyektə yaxın modellər qurmağa imkan verir, lakin, belə modellərin əhəmiyyətli çatışmazlığı var – onlar çətin təkmilləşdirilir.

Modelləşdirmənin ümumi prinsiplərinə aşağıdakıları aid etmək olar:

1. modelləşdirmədə *zidiyyətlik prinsipi* obyektin intuitiv-məzmunlu və formal üsullarının ziddiyyətli vəhdətini əks etdirir.

2. modelləşdirmənin *aksiomazisasiya* prinsipi (ümumilik və konkretlik dərəcəsinə görə xassə və münasibətlərin aksiomlaşdırılması).

3. obyektlərin münasibətlər çoxluğunun digər obyektlə (mühitlə) *məhdudiyyəti prinsipi*.

4. obyektin dinamikasını (modellərin təsnifatı və subordinasiyası) əks etdirən modelləşdirmənin *çoxmodellik prinsipi*.

5. obyektin və modelin və s. *analogiya prinsipi*.

Riyazi modelləşdirmənin prinsipi isə qoyulan məsələnin həlli üçün zəruri və kifayət qədər olan istənilən modelin optimal mürəkkəbliyə malik olmasıdır.

Modelləşdirmənin xassələri və modelləşdirməyə qoyulan tələblər. Modelləri bir neçə əsas xassəyə görə qiymətləndirmək olar:

1) *Realistiklik.*

2) *Dəqiqlik* – modelin kəmiyyətə dəyişmələri əvvəlcədən xəbər verməsi və onun əsaslandığı məlumatların imitasiya etməsi bacarığı.

3) *Ümumilik* – bu modelin tətbiq oluna bilməsi diapazondur, yəni, modelin işləyə biləcəyi müxtəlif vəziyyətlərin sayıdır.

4) *Həll etmə qabiliyyəti* – modelin əks etdirməyə çalışdığı sistemin əlamətlərinin sayı.

Riyazi modellərin xassələrinə aşağıdakılar aiddir:

1. Xəttilik və qeyri-xəttilik. Xəttilik həm təbii (təbiətə uyğundur), həm süni (sadələşdirilmə məqsədi üçün daxil edilən) xarakterli ola bilər.

2. Fasiləsizlik və diskretlik. Onlar vəziyyətin parametrlərinin (y), prosesin parametrlərinin (t) və sistemin çıxışlarının daxil olduğu çoxluqların strukturunda ifadə olunur. Beləliklə, y , t , x – çoxluqlarının diskretliyi modelin diskret, fasiləsizliyi isə - modelin fasiləsiz xassələrə malik olduğunu göstərir. Burada qeyd etmək lazımdır ki, girişlərin diskretliyi (xarici təsirlərin impulsları) ümumi halda modelin diskretliyinə gətirib çıxarmır.

3. Sonluq və sonsuzluq.

4. Deterministiklik və stoxastiklik. Əgər modeldə x^+ , a , y , x^- kəmiyyətləri arasında təsadüfi kəmiyyətlər varsa, yəni onlar bir sıra ehtimal xarakteristikalarına malikdirsə, onda model stoxastik (ehtimal) modeli adlanır. Bu halda və model vasitəsilə alınan bütün nəticələr stoxastik xarakter daşıyacaq. Praktiki nöqteyi-nəzərdən stoxastik və determinik modellər arasında sərhəd yaygın olacaq.

5. Qaydaların və ya proseslərin stasionarlığı və ya qeyri-stasionarlığı. Tutaq ki, baxılan qaydada prosesin parametri iştirak edir və başa düşülmənin rahatlığı üçün onu vaxt parametri qəbul edək. Bu qaydanın tətbiqinin bütün xarici şəraitlərini eyni götürək, lakin birinci halda bu qaydanı t_0 , ikinci halda isə $t_0 + \Delta t$ vaxt anı üçün tətbiq edək. Bu vaxt qaydalarının tətbiqinin nəticələrinin eyni olub-olmaması sualına belə cavab vermək olar ki, bəli dedikdə qayda (proses) stasionardır, yox – qeyri-stasionardır. Əgər, modeldə bütün qaydalar stasionardırsa, onda modelin özü də stasionar adlanacaq. Bir çox hallarda stasionarlıq mü-

əyyən fiziki kəmiyyətlərin vaxta görə dəyişməməzliyi ilə ifadə olunur. Bunlara aşağıdakıları aid etmək olar: sabit sürətli stasionar maye axını; stasionar mexaniki sistem (burada qüvvə koordinatdan asılıdır, vaxtdan isə - asılı deyil).

Modelləşdirməyə qoyulan əsas tələblər aşağıdakılardır:

- dəqiq və tam olmalıdır, yəni funksional və ya sistem xarakteristikalarında probellər olmamalı, eyni zamanda artıq xarakteristikaya malik olmamalıdır;

- lazımı səviyyədə detallaşdırma səviyyəsində aydın və lakonik olmalıdır;

- qəbul edilən olmalıdır, yəni, onların istifadəsində olan məna və səmərə modeldən istifadə edənlər üçün aydın təqdim olunmalıdır;

- istifadədə asan və dərk edilən olmalıdır, yəni, onlardan istifadə edənlərin təcrübəsinə və vərdişlərinə müvafiq olmalı, bu modeli necə istifadə etməyi göstərən instruksiya ilə müşayiət olunmalıdır.

Modelləşdirmənin əsas tipik mərhələləri. Modelləşdirmə prosesinin özünü dörd mərhələyə bölmək olar: *-keyfiyyət təhlili; -riyazi realizasiya; -verifikasiya; -modellərin öyrənilməsi.*

Birinci mərhələ - istənilən obyekt modelləşdirilməsinin əsasını təşkil edir. Onun əsasında məsələlər formalaşır və modelin növü seçilir. Modeldə istifadə ediləcək əsas daxili və xarici amillər və onlar arasında qarşılıqlı əlaqələr təyin olunur. Təbii ki, nəzərə alınacaq amillər tədqiqatların məqsədlərindən asılı olacaq. Qeyd etmək lazımdır ki, amillər arasındakı əlaqələr barədə informasiya adətən lazımı qədər olmur və bu əlaqələrin konkret ifadələrinin tapılması üçün hər hansı bir metodika mövcud deyil. Buna görə də tətbiq olunan üsulları kobud da olsa üç qrupa bölmək olar:

1) *kəmiyyətlər arasında əlaqələr barədə təbii-elmi qanunauyğunluqların* istifadə edilməsi, belə növ qanunauyğunluqlar eksperimental olaraq və ya konkret elmlərə uyğun olan nəzəri formada müəyyənləşdirilir.

2) *statistik məlumatların istifadəsi*, bir sıra hallarda kəmiyyətlər arasında lazımi qədər bol statistik materiallar mövcuddur və onlar riyazi statistikanın reqressiya, dispersiya təhlilləri kimi üsullardan əlaqələrin növünün təyin edilməsi üçün istifadəyə imkan verir.

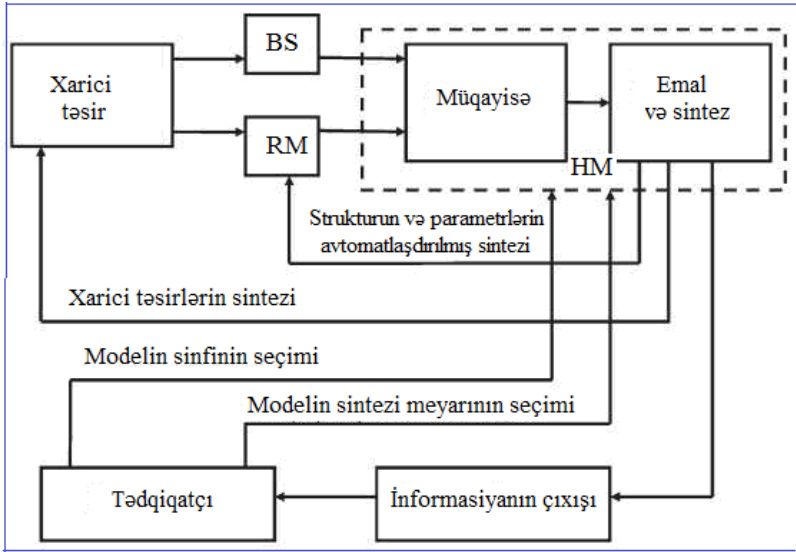
3) *keyfiyyət təsəvvürlərinin istifadəsi*. Təssüflə qeyd etmək olar ki, bir çox hallarda lazımi statistik məlumatlar və möhkəm müəyyənləşdirilmiş qanunauyğunluqlar yoxdur. Belə hallarda adətən bir kəmiyyətin digərinə təsirinin xarakteri barədə müxtəlif kəmiyyət, intuitiv mülahizələrin köməyinə ehtiyac duyulur.

İkinci mərhələ - modelin məntiqi strukturunun riyazi realizasiyasıdır.

Üçüncü mərhələ modelin verifikasiyasını, yəni modelin orijinala uyğunluğunun yoxlanılmasını nəzərdə tutur. Bu mərhələdə əmin olmaq lazımdır ki, seçilmiş model orijinalın xüsusiyyətlərini adekvat əks etdirən ikinci tələbə cavab verir. Bunun üçün empirik yoxlama, yəni model vasitəsilə alınan nəticələrin orijinal üzərindəki müşahidələrin nəticələri ilə müqayisəsi aparıla bilər. Empirik məlumatların olmadığı halda nəzəri verifikasiya aparılır, yəni, nəzəri təsəvvürlərə görə modelin tətbiq oblastı və proqnostik imkanları təyin olunur. Bu mərhələ mütləq modelin həssaslığının yoxlanılmasını nəzərdə tutur.

Dördüncü mərhələdə modelin öyrənilməsi, model vasitəsilə hesablama eksperimentlərinin aparılması və modelə aid olan informasiyanın interpretasiyası həyata keçirilir. Bu mərhələnin əsas məqsədi modelləşdirilən sistemin yeni qanunauyğunluqlarının aşkar edilməsindən, strukturun optimallaşdırma imkanlarının tədqiqindən, onun davranışının idarə edilməsindən, həmçinin modelin proqnozlaşdırmaya yararlı olub-olmamasının müəyyənləşdirilməsindən ibarətdir. Müqayisəli təhlillərin nəticələrində əhəmiyyətli fərqlər olarsa, onda model ya istifadə olunmur, ya da təkmilləşdirilir. Modelin ən yaxşı strukturunun axtarışı müəyyən bir meyarlar sistemi əsasında aparıla bilər (şəkil 1.2). Lakin, bəzi hallarda təd-

çiqatçının imkanlarından istifadə etmək də məqsəduyğundur. Bu vaxt o, meyarların dinamikasında seçim və düzəlişlər edə bilər.



Şəkil 1.2. Modelləşdirmənin avtomatik sxemi:
BS – bioloji sistem; RM – riyazi model;
HM- hesablama mərkəzi

Modelləşdirmənin məqsədi və məsələləri. Modelləşdirmənin məqsədi real obyektin xarakteristikalarının ideal obyektin kəmiyyət xarakteristikalarına oxşarlığının təmin edilməsi modelin quruluşunun və fəaliyyətinin cizgilərinin timsalından əvəzediciyə (duplikata), yəni modelə daşınmasıdır. Modelləşdirmənin nəticəsi kimi real sistemin qanunlarının və ya fəaliyyət qaydalarının başa düşülməsi olmalıdır. Bu, praktikada problemlərin həlli (obyektin fəaliyyət rejimini dəyişməklə), elmdə isə - qarşıya qoyulan suallara cavab vermək və tədqiqatların yeni məsələlərini qısa və dürüst ifadə etmək deməkdir.

Modelin *məqsədi* isə ondan ibarətdir ki, özünün real prototipinə uyğun əsas xüsusiyyətləri çərçivəsində fəaliyyət göstərə

bilsin. Əgər model bu məsələnin öhdəsindən gələ bilirsə, onda heç olmasa müəyyən bir vaxt intervalında biliklər sisteminə elmi ümumiləşdirmə kimi daxil olur, əks halda isə -seçilib atılır.

Modellərin qurulmasının məqsədlərinə aid etmək olar: 1) tədqiqatların ümumi istiqamətlərinin təyin edilməsi və ya ilkin olaraq daha detallaşdırılmış formada öyrənilməyə məruz qalan problemin konturlarını cizmaq; 2) məkan və zamanda sistemin dəyişmələrini əvvəlcədən söyləmək.

Modelləşdirmənin başlıca məsələsi – mövcud obyektə oxşarlıq əsasında onu əvəz edən obyektin (modelin) canlandırılmasıdır.

İstənilən modelin qurulması vaxtı başlıca məsələ isə - lazımı səviyyədə tamlığa malik modelin yaradılmasıdır. Bunun üçün baxılan hadisəyə təsir edən bütün əhəmiyyətli amilləri nəzərə almağa çalışmaq, modelin tamlığının əlamətlərindən biri olan ziddiyyətli elementlərin mövcudluğuna xüsusi diqqət yetirmək, lazım olan hallarda modelə yeni element əlavə etmək məqsədilə məlum olmayan amillərin aşkar edilməsi imkanlarını nəzərə almaq lazımdır. Burada qeyd etmək lazımdır ki, modelləşdirmənin köməyi ilə yeni informasiyanın alınması məqsəd deyil, ancaq öyrənilən prosesin təkmilləşdirilməsinin vasitəsi kimi çıxış edir.

Modellərin hazırlanmasının (qurulmasının) və qiymətləndirilməsinin əsasları. Modelləşdirmə prosesinin komponent tərkib hissələri – bu blok-sxemdən başlamış modelin işinin yoxlanılmasına qədər modelin qurulması mərhələləridir.

Riyazi modelin qurulması – bu və ya digər proses və hadisələr arasında əlaqələri təyin etmək və riyazi aparatın qurulması (və ya seçmək) deməkdir. Bu isə modelin elementləri, yəni, bu və ya digər proses və hadisələr, mütəxəssisi maraqlandıran son nəticənin asılı olduğu fiziki kəmiyyətlər və amillər arasında əlaqələrin keyifiliyyətcə və kəmiyyətcə ifadəsinə imkan verir. Modellərin qurulması zamanı yadda saxlamaq lazımdır ki,

istənilən obyektin, hadisənin və ya prosesin riyazi modeli üç əsas elementi özündə birləşdirir:

a) obyektin axtarılan xarakteristikaları (məchul kəmiyyətlər) -vektor: $Y=(y_i)$;

b) modelləşdirilən obyektə nəzərən xarici şərtlərin xarakteristikası: $X=(x_j)$;

c) obyektin daxili parametrlərinin toplusu $-D$. Modeldən kənarında təyin olunan X şərtləri və D parametrlər toplusu *ekzogen* kəmiyyətlər, modelin köməyi ilə təyin olunan və Y vektoruna daxil olan kəmiyyətlər *endogen* kəmiyyətlər adlanır.

Bu vaxt, riyazi modellərin dörd əsas komponentini seçmək lazımdır:

1) *sistem dəyişənləri* – bu, rəqəmlər sırasıdır və istənilən vaxt anında sistemin vəziyyətini təqdim etmək üçün istifadə olunur. Məsələn, istənilən vaxt anında ekosistemlər bir sıra komponentlərdən (və ya bloklardan) təşkil olunurlar və onların xarakteristikaları üçün bir və ya bir neçə sistemli dəyişmələr istifadə olunur;

2) *bloklar arasında qarşılıqlı münasibətlər (qarşılıqlı təsirlər)* funksional asılılıqların köməyi ilə təsvir olunurlar, onlar adətən ya riyazi düstur, ya da tənliklərdir;

3) *sistemin (və ya amillərin) girişləri*, onlar ekosistemin komponentlərinə təsir edir, lakin onların təsiri altında olmur və məcburi funksiyalarla təsvir olunur;

4) *riyazi modellərin sabit kəmiyyətləri* parametr adlanır. Vəziyyətin az dəyişən halına da parametr kimi baxmaq olar. Öz növbəsində, parametrlər modelin tələblərini təmin etmədikdə, dəyişən kəmiyyətlərə çevrilə bilirlər.

Modellərin qiymətləndirilməsi parametrləri müxtəlif ola bilər. Onlardan biri modelin progressivliyidir və bu, modelin bir sıra momentlərə görə nə qədər liderlik etməsini göstərir. Modellərin progressivliyi tədqiqatçının məqsəd və vəzifələrindən asılı olaraq bu və ya digər sahədə tətbiq olunan modelin xassələrinin xarakteristikaları ilə təyin olunur. Qeyd etmək olar ki,

modellərin keyfiyyətinin təyin edilməsi o qədər də asan məsələ deyil.

Ümumiyyətlə isə modellərin qiymətləndirilməsinin başlıca meyarları aşağıdakılardır:

- əks etdirmənin yeniliyi (intuitiv əks etdirmə, keyfiyyət təsviri, əyani imitasiya, sistemli canlandırılma);

- yayılma – işlənmə dərəcəsi.

Modelin köməyi ilə problemin yaradıcılıq həllinin səviyyəsi qnoseoloji (dərək etmə, izahedici) və evristik (proqnostik, yaradıcılıq) funksiyalarının yeri deməkdir.

Bu imkanların artması ardıcılığı, yəni problemin yaradıcılıq həlli aşağıdakılardır:

- məlum faktların, predmetlərin və hadisələrin təyini, təsnifatı, onların nizamlanması və sadə məsələlərin həlli, ən sadə model təsvürlərinin təkmilləşdirilməsi;

- qurulmuş modelin qnoseoloji və evristik potensiallarının realizasiyası, keyfiyyətə yeni faktların, hadisələrin elmi proqnozunun həyata keçirilməsi və onların praktiki istifadəsi.

Hazırlanmış modellərin istifadə səviyyəsi aşağıdakı göstəricilərlə xarakterizə olunur:

- modelin tətbiq edilmə məqsədi təyin olunub;

- modelin tətbiqinin bu və digər aspektləri üzrə biliklərin dərinləşdirilməsi;

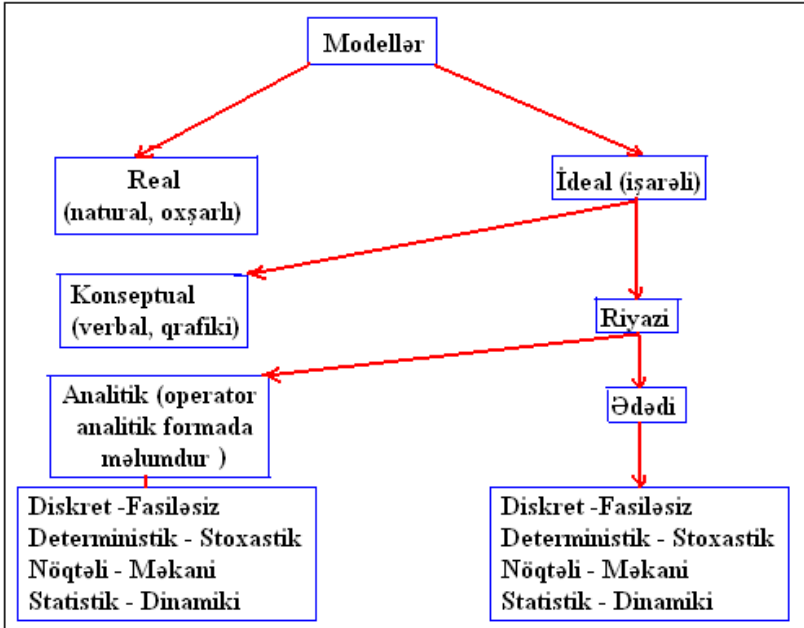
- elmi dərketmə sistemində, kadrların hazırlanması sistemində, təhsil müəssisələrində istifadə edilir.

Modellərin qurulması vaxtı onların strukturuna baxılması da vacib rol oynayır. Modellərin strukturuna üç əsas komponent daxildir: tədqiq olunan obyektin inkişafının istiqamətlər toplusu: inkişafın vadaredici qüvvələri; xarici təsir amilləri.

1.3. Modelləşdirmənin təsnifatı

Modellərin formalarına görə dəqiqlik dərəcələrini nəzərə almaqla, zaman amilinə görə, həyata keçirilmə üsulu baxımından, orijinalın təsviri xarakterinə, modeldə həqiqəti əksətdirmə

qaydalarına, modelləşdirilən obyektlərin realizasiya xarakterinə və s. əlamətlərə görə təsnifatını vermək mümkündür. Sistem-orişinalın xüsusiyyətlərindən və tədqiqat məsələlərindən asılı olaraq çox müxtəlif formalı modellər tətbiq olunur və onları şəkil 1.3-də göstərilmiş əlamətlərə görə təsnifatlaşdırmaq məqsəduyğundur.



Şəkil 1.3. Modellərin sxematik təsnifatı

Həyata keçirməyə görə **real** və **işarə** modelləri fərqləndirilir. *Real model* öz fiziki realizasiya təbiətinə görə orşinal obyektin əhəmiyyətli cizgilərini əks etdirir. Məsələn, akvariumu təbii sututurların modeli kimi qəbul etmək olar. *İşarə modeli* baxılan simvollar əlifbasının və simvollar üzərində əməliyyatların köməyi ilə sistem-orişinalın şərti təsvirindən ibarətdir və nəticə müəyyən bir dilin sözləri və cümlələri əsasında alınır, onlar isə müəyyən kodların köməyi ilə sistem-orginalın bir sıra

xassələrinin surəti və onlar arasında əlaqələr kimi interpretasiya olunur.

Modelləşdirmədə işarə modellərinin, o cümlədən məntiqi, riyazi, məntiqi-riyazi modellərin, həm də ekspertlər tərəfindən tərtib olunmuş təsvirlər əsasında yaradılmış modellərin xüsusi yeri vardır. Bu istiqamət hesablama sistemlərinin inkişafı ilə əlaqədardır. İşarə modelləri müxtəlif formalı sistemlərin modelləşdirilməsi üçün istifadə olunur.

Qurulma qaydalarına görə bütün modelləri iki sinifə bölmək olar: **maddi** (digər təsnifatlaşdırmalarda –real, natur, analog, fiziki modellər) və **ideal** (işarə) modelləri.

Maddi modellər təbii və ya süni mənşəli hər hansı maddi obyektlərdə təzahür olunur. Maddi modelləşdirmə üsullarında tədqiqatlar öyrənilən obyektin əsas həndəsi (maketlər, trenajorlar və s.), fiziki (hidroloji model – suyun axması və s.), dinamik və funksional xarakteristikalarını əks etdirən model əsasında aparılır. Belə modelləşdirmə adətən texniki məqsədlər üçün istifadə olunur. Maddi modelləşdirmə üsulları 2 əsas qrupa ayrılır: fiziki modelləşdirmə və analog modelleşdirmə.

Fiziki modelləşdirmədə real obyekt onun böyüdülmüş və ya kiçildilmiş surəti ilə əvəz olunur və tədqiqat da onun üzərində aparılır (məsələn, aerodinamiki tədqiqatlarda fiziki modelin konstruksiyası yaradılması və burada ölçmələrin aparılması). Öyrənilən proses və hadisələrin xassələri sonradan oxşarlıq nəzəriyyəsi əsasında modeldən obyektə köçürülür. Fiziki modellərlə obyekt – orijinal eyni təbiətli maddi obyektlərdir və eyni qanunlara tabedir. Belə modellər texniki elmlərdə geniş yayılmışdır: astronomiyada, hidrotexnikada, arxitekturalarda, təyyarə-qayırmada və s. Fiziki model adətən bir və ya bir neçə obyektə aid olur. Ona görə də universal xarakter daşımır. İqtisadiyyatda fiziki modelləşdirməyə real iqtisadi eksperiment anlayışı yaxındır. Məsələn, bir müəssisədə aparılmış eksperimentin (uçot, planlaşdırma, əmək haqqı, təsərrüfat hesabı sistemləri) nəticələri bütöv sahəyə - iqtisadi təbiətinə görə yaxın obyektlər çox-

luğuna köçürülür. Lakin iqtisadiyyatda fiziki modelləşdirmənin imkanları prinsipial olaraq məhduddur.

Analoq modelləşdirmə fiziki təbiətləri müxtəlif olan, lakin formal cəhətdən eyni cür ifadə olunan (eyni riyazi tənliklərlə, məntiqi sxemlərlə və s.) proseslər və hadisələrin analogiyasına əsaslanır. Ən sadə misal, mexaniki rəqslərin eyni differensial tənliklərlə təsvir edilən elektrik sxemlərinin köməyi ilə öyrənilməsidir. Belə modelləşdirmədə müxtəlif hadisələrə aid olan tənliklərin oxşarlığı əsas təşkil edir. Əgər müxtəlif təbiətli iki obyektin riyazi oxşarlığı faktı müəyyən olunmuşdursa, onda bir obyektin (modelin) uyğun fiziki xüsusiyyətlərindən digər obyektin (orijinalın) tədqiqatı üçün istifadə edilə bilər.

İdeal modellər isə insan təfəkkürünün məhsuludur, belə modellərlə əməliyyatlar insanın şüurunda həyata keçirilir. İdeal modelləşdirmə maddi modelləşdirmədən prinsipial fərqlənir. Belə modelləşdirmə obyektlə modelin analogiyasına deyil, idealın (fikrinin) analogiyasına əsaslanır və nəzəri xarakter daşıyır. İdeal modellər sinfi hər şeydən əvvəl real həqiqəti formalaşdırmaq dərəcəsinə görə fərqlənən kifayət qədər müxtəlif modelləri birləşdirir. Ekoloji modelləşdirmə üçün daha münasib olan modellər ideal modellərdir, onlar orijinalın sözlə və ya onlar üzərində originalın tədqiq olunan xüsusiyyətlərini əks etdirən simvol və əməliyyatlar vasitəsilə təsvirindən ibarətdir.

Elmi idrakda ideal modelləşdirmənin əsas iki növünü fərqləndirirlər: *intuitiv modelləşdirmə* və *işarə modelləşdirməsi*.

İntuitiv modelləşdirmə dedikdə obyekt haqqında formalizə edilə bilməyən və ya ona ehtiyacı olmayan intuitiv təsəvvürlərə əsaslanan modelləşdirmə başa düşülür. Bu mənada məsələn, hər bir insanın həyat təcrübəsi ətraf aləmin intuitiv modeli sayıla bilər.

İşarə modelləşdirməsi müəyyən növ işarələrdən (sxemlər, simvollar, əlifbalar, proqramlaşdırma dilləri, qrafiklər, çertyoj-

lar, düsturlar, simvollar yığımı və s.) və işarə çevirmələrindən model kimi istifadə edilməsinə əsaslanır.

İdeal modellər üç növə bölünür: **verbal; sxematik; riyazi.**

Verbal modellər – bu mətn, cədvəl və illyustrasiyalar şəklində təbii-elmi təsvirinin ənənəvi formalizasiya olunmuş variantıdır.

Sxematik modellər müxtəlif növlü sxemlər, şəkillər, qrafiklər, fotoqrafiyalar formasında işlənir, onların əsas üstünlükləri -əyanilik, informativlik və qurulmasının sadəliyidir (trofik zəncir, ekosistemlərin struktur sxemləri, dinamikası və energetikası, ekoloji amillərin təsiri, biokimyəvi dövranlar və s.).

Riyazi modellər – orijinalın riyazi təsviridir və onun təamlığını, strukturunu, dinamikasını, fəaliyyətini, orijinalın qarşılıqlı əlaqələrini, xarici və daxil təsir amillərini əks etdirir. Bu, praktiki olaraq o deməkdir ki, adətən tənliklərdən və yaxud tənliklər sistemindən ibarətdir və bunlar real sistemə aid olan fərziyyə və yaxud təklifləri kəmiyyətcə təsvir edir. Model işlənərkən qəbul olunan fərziyyənin düzgünlüyü real sistemdə aparılan ölçmələrin nəticələri ilə yoxlanıla bilər. Riyazi modellər analitik, imitasion və kombinəlaşdırılmış modellərə bölünür.

Burada qeyd etmək olar ki, verbal və sxematik modellər riyazi modelləşdirmənin keyfiyyət təhlilinin ayrılmaz hissələridir.

Obyektin təqdim olunma formasından asılı olaraq seçilirlər: **xəyali (abstrakt) və real modellər.**

Xəyali (abstrakt) modelləşdirmə o vaxt tətbiq olunur ki, maddi obyekt yaratmaq ya mümkün olmasın, ya da çox bahalı olsun. İki növə bölünür: əyani; simvolik.

Əyani modelləşdirmə dedikdə obyekt barədə insanın təsəvvürü bazasında sxemlərin, xəritələrin, çertyojların, qrafiklərin, qrafların, analoqların köməyi ilə **hipotetik modellərin, analoqların, maketlərin** yaradılması başa düşülür. Hipotetik

modelləşdirmədə real obyekt barədə hipotez seçilir və o, formalizasiya üçün biliklərin çatışmadığı halında obyekt barədə bilik səviyyəsini əks etdirir. Analoq modelləşdirilməsi müxtəlif səviyyələrin (tam, qeyri-tam, təxmini) analogiyalarını istifadə edir. Maketlərin yaradılması dedikdə - hazırlanmış maket əsasında səbəb-nəticə əlaqələrinin analogiyası yerləşir.

Simvolik modelləşdirmə - işarə və simvol sistemlərinin köməyi ilə real obyektin əvəzləyicisi olan məntiqi obyektin yaradılmasının süni prosesidir. Onun tərkib hissəsi olan işarə modelləşdirilməsi – ayrı-ayrı anlayışların şərti işarələri daxil edilir, işarələrdən söz və cümlələr tərtib olunur, çoxluq nəzəriyyəsinin birləşmə əməliyyatları, kəşişmələr və əlavələr obyektin təsvirini verir.

Real (natur) modelləşdirmə - real obyektə tədqiqatların aparılması və oxşarlıq nəzəriyyəsi əsasında eksperimentlərin nəticələrinin emalını özündə əks etdirir.

Modellər nisbətən **tam və qeyri-tam** ola bilərlər. Tam modellər obyektin bütün əsas xassələrini vaxta və məkana görə tam əks etdirir. Qeyri-tam modellər obyektin xassələrinin məhdud hissəsini xarakterizə edir.

Mürəkkəb obyektlərin (sistemlərin) modelləşdirilməsi vaxtı baxılır: **makromodelləşdirmə** - sistemin model-ləşdirilməsinə altsistemlər səviyyəsində baxmaq; **mikromodelləşdirmə** - sistemin və ya alt sistemin modelləşdirilməsinə elementlər səviyyəsində baxmaq.

İnformasiyanın təqdim olunma formasına görə modellər bölünürlər: diskret, fasiləsiz, diskret-fasiləsiz. Diskret modellər dəyişən kəmiyyətlərin vəziyyətini sıçrayışla (bir anda) dəyişir, belə ki, səbəb və nəticələrin əlaqələrinin detallaşdırılmış təsvirinə malik deyil, prosesin bir hissəsi tədqiqatçıdan gizlin qalmışdır. Fasiləsiz modellər daha dəqiqdir, onlar prosedəki keçidlərin detalları barədə informasiyaya malikdir. Diskret – fasiləsiz modellər əvvəlki hər iki modelin xüsusiyyətlərini özündə əks etdirir.

Modellər həmçinin aşağıdakılar kimi təsnifatlaşdırıla bilər: *fenomenoloji; aktiv və passiv; statistik və dinamik; imitasiya; determinik və stoxastik; paylanmış və cəmlənmiş; funksional və obyektli.*

Fenomenoloji modellər konkret hadisəyə güclü olaraq bağlıdır. Vəziyyətin dəyişməsi bir çox hallarda ona gətirib çıxarır ki, yeni şəraitdə modeldən istifadə etmək lazımı qədər çətinləşir. Bu ondan irəli gəlir ki, modelin hazırlanması vaxtı modelləşdirilən sistemin daxili quruluşuna oxşarlıq nöqtəyindənərdən modeli hazırlamaq mümkün olmamışdır. Belə model xarici oxşarlığı ötürür.

Aktiv modellər istifadəçi ilə qarşılıqlı təsirdədir, passiv model kimi ondan soruşulan vaxt istifadəçinin sualına cavab verdiyi ilə bərabər, özü də dialoqu aktivləşdirir, onun xəttini dəyişir, özünün məxsusi məqsədlərinə malikdir. Bu ondan irəli gəlir ki, aktiv modellər öz-özünə dəyişə bilərlər.

Statistik modellər hadisəni vaxta görə inkişaf olmadan təsvir edirlər.

Dinamik modellər sistemin vaxta görə özünü aparmasını izləyirlər, buna görə də öz yazılışında istifadə edirlər (məsələn, differensial tənliklər, vaxta görə törəmələr). Əksər canlı obyektlər və sistemlər dinamik sistemlərdir və ancaq dinamik modellərin vasitəsilə təsvir oluna bilərlər.

İmitasiya modelləri obyektin sınaqdan keçirilməsi və öyrənilməsi, modelin bir sıra və ya bütün parametrlərinin variasiyası yolu onun mümkün inkişaf və özünü aparma yollarının öyrənilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Determinik modelləşdirmədə müəyyən təsirlərə konkret əks reaksiya müvafiqdir. Məsələn, texnogen xarakterli partlayışlar vaxtı zərbə dalğası cəbhəsində izafi təzyiqin 10 kPa qiyməti insanlar üçün təhlükəsiz, 100 kPa-dan çox olması isə insanlar üçün ölüm təhlükəsi sayılır.

Stoxastik (ehtimal) modelləşdirmədə isə reallıqda mənfi təsirin eyni dozasının lazımı qədər böyük sayda insanlara, bina

və tikililərə, ətraf təbii mühitin komponentlərinə və s. zədələyici effektinin müxtəlif olması nəzərdə tutulur.

Paylanmış modelləşdirmədə obyektin müxtəlif nöqtələrində parametr müxtəlif qiymətlər alır və buna görə də obyektə təsvir edən model paylanmış model adlanır.

Cəmlənmiş modelləşdirmədə obyektin xassəsini təsvir edən parametr modelin müxtəlif nöqtələrində eyni qiymətə malik olur və belə sistem cəmlənmiş parametrlərdən ibarətdir.

Bəzi hallarda model obyektin strukturunu özündə cəmləşdirir, lakin obyektin parametrləri cəmlənmişdir, onda belə modellər **struktur modellər** adlanır.

Funksional modelləşdirmədə onun təsviri özünü aparma nöqtəyi-nəzərdən qurulur.

Obyektli modelləşdirmədə hər bir obyektin təsviri digərininkindən ayrı aparılır və obyektin özünü aparmasını şərtləndirən xassələri təsvir olunur.

Funksional modellərdə obyektin daxili strukturu öyrənilmir və təbii ki, struktura dair informasiyadan da istifadə olunmur. Başqa sözlə, funksional modellərin köməyi ilə öyrənilən obyekt daxili strukturu tamamilə görünməyən abstrakt bir obyekt (*“qara qutu” prinsipi*). Funksional model obyektin fəaliyyətini elə ifadə edir ki, ”girişdə” X qiymətini verməklə, ”çıxışda” Y qiymətini almaq mümkün olsun: $Y=Z(X)$.

Yuxarıda göstərilənlərlə bərabər aşağıdakı modelləşdirmə növləri də seçilir.

Dil modelləşdirilməsi əsasında birmənalı anlayışların lüğəti yerləşir.

Kibernetik modelləşdirmə - birbaşa fiziki oxşarlıq yoxdur, giriş və çıxışı olan “qara qutu” kimi təsvir olunur.

Alqoritmik modelləşdirmə - modelin fəaliyyətini, inkişafını təyin edən bir sıra alqoritm və ya alqoritm kompleksləri ilə təsvir olunur.

Hesablama modelləşdirilməsi – alqoritmik modeli reallaşdıran proqramdır.

İnformasion-məntiqi modelləşdirmə dedikdə modelin tərkib elementləri, altmodelləri barədə informasiya ilə təchiz olunması və onlar arasında məntiqi əlaqələrin olması başa düşülür.

Vizual modelləşdirmə modelləşdirilən sistemin münasibətlərini və əlaqələrini, xüsusilə də onun dinamikasını da vizuallaşdırmağa imkan verir.

Oyun modelləşdirilməsi elementlər (oyun obyektləri və subyektləri) arasında müəyyən bir oyun vəziyyətini realizasiya edir.

Yuxarıda göstərilmiş hər bir model növündə modelin mürəkkəbliyindən, modelləşdirmənin məqsədindən, modelin xarakteristikalarının qeyri-müəyyənlik dərəcəsindən asılı olaraq tədqiqatların (eksperimentlərin) aparılmasında, yəni tədqiqat üsullarında xarakterinə görə müxtəlif qaydalar ola bilər. Məsələn, analitik tədqiqatlarda müxtəlif riyazi üsullar tətbiq edilir. Fiziki və ya natur modelləşdirilməsində isə tədqiqatların eksperimental üsulundan istifadə olunur. Təbii ki, onlardan hər birinin üstün və çatışmayan cəhətləri mövcuddur. Məsələn, müxtəlif riyazi aparatın qarşıya qoyulan məsələnin həlli üçün müxtəlif imkanları, hesablama resurslarına müxtəlif tələbatları var. Eyni bir obyekt müxtəlif üsullarla öyrənilə bilər. Buna görə də hər bir model növünün seçilməsi çox vacibdir. Belə ki, modelin daha rahat realizasiyası və onun yerinə yetirdiyi funksiyaların dəqiqliyi seçilən riyazi modelin növündən asılıdır.

Ptaktika nöqtəyi-nəzərindən tipik modellərə aşağıdakıları aid etmək olar: – düsturlar toplusundan ibarət olan modellər; – xətti və qeyri-xətti tənliklər sistemi; – differensial tənliklər; – diskret keçidlər; – statistik təsvirlər; – approksimasiya edici təqdimatlar; – vəziyyətin (o cümlədən ekoloji) təsviri.

Riyazi modelləşdirmədə obyektin tədqiqi riyaziyyat dilində formulə edilmiş model vasitəsilə bu və ya digər riyazi üsullardan istifadə etməklə həyata keçirilir. Bir tədqiqat üsulu kimi modelləşdirmə özündə iki ardıcıl mərhələni birləşdirir: mo-

delin qurulması prosesi və modelin köməyi ilə obyekt – orijinalın öyrənilməsi prosesi. Bu mərhələlər qarşılıqlıdırlar və modelin qnoseoloji əhəmiyyətini şərtləndirir. Onlar müxtəlif tip modellərdə müxtəlif dərəcədə təmsil olunmuşlar. Riyazi modelləşdirməyə klassik misal mexanikanın əsas qanunlarının riyazi vasitələrlə təsviri və tədqiqidir.

Riyazi modellər bir sıra əlamətlərə görə təsnifatlaşdırıla bilinər və onlara uyğun olaraq riyaziyyat bölməsinin hər-hansı bir aparatı seçilir. Elm və texnikada “model” anlayışının çoxsaylı təyinatı səbəbindən modelləşdirmə növlərinin vahid təsnifatı mövcud deyil. Buna görə də riyazi modellərin təsnifatının modellərin xarakterinə, modelləşdirilən obyektlərin xarakterinə və modelləşdirmənin tətbiq sferalarına görə aparılması məqsədəuyğun hesab olunur. Burada qeyd etmək olar ki, nəzəri mülahizələr əsasında çıxarılan riyazi modellər *aprior*, empirik məlumatlar əsasında hazırlanmış modellər isə *aposterior* modellər adlanır.

Hazırlanması prinsiplərinə görə riyazi modelləri **analitik, konstruktiv (alqoritmik) və imitasion** növlərə ayırmaq olar.

Analitik modellərdə real obyektlərin, proseslərin və ya sistemlərin fəaliyyəti riyazi problemlərdən asılı olaraq aşağıdakı funksional ifadələrlə yazılır: tənliklər (cəbri, differensial, inteqral tənlikləri); approssimasiya məsələləri (interpolyasiya, ekstrapolyasiya, ədədi inteqrallama və differensiaslama); optimizasiya məsələləri; stoxastik problemlər.

Differensial tənliklər formasında yazılmış analitik modellər müəyyən qanunların ifadəsi üçün istifadə edilir. Bu modellərin parametrlərinə bioloji məna vermək də qəbul olunmuşdur. Onlara dəyişən kəmiyyətlərdən biri kimi zaman parametri daxil edilir, bu isə prinsipə məsələnin ümumi həllini tapmağa, yəni, sistemin vəziyyətini (onun dəyişən kəmiyyətlərinin qiymətlərini) istənilən konkret vaxt anında və sistemin tam dinamikasını bərpa

etmədən qiymətləndirməyə imkan verir. Bunun üçün isə ilkin olaraq sistemin tənliliklərini həll etmək lazım gəlir.

Lakin, modelləşdirmə obyektlərinin mürəkkəbləşməsi ilə analitik modellərin hazırlanması çətin həll olunan problemə çevrilir. Belə hallarda tədqiqatçı konstruktiv (alqoritmik) modellərə keçməyə və ya imitasion modelləşdirmədən istifadə etməyə məcbur olur.

Real sistemin strukturunu və onun elementləri arasında qarşılıqlı əlaqələri lazımi səviyyədə tam əks etdirən riyazi model adətən o qədər mürəkkəb olur ki, məlumatların kömpüter emalının ədədi üsullarından istifadə etməyi tələb edir. Eyni zamanda, əgər tənliliklər və bərabərsizliklər məcmusu bir-birinə zidd deyilsə və tamdırsa, onda bir sıra hallarda bu tənliliklərin EHM-də ədədi həllinin alqoritmini tapmaq mümkün olur. Bu hallarda ən çox **ədədi** və ya **imitasion modelləşdirmədən** danışılır.

İmitasiya modelləri (EHM dilində proqramlar) əvvəlcə differensial tənliliklərin ədədi həlli yollarının axtarılması üçün bir vasitə kimi geniş yayılmağa başlamış, sonralar isə tədqiq olunan sistemin portret obrazının yaradılması qaydası kimi istifadə olunmağa başlamışdır. İmitasiyanın məqsədi sistemin hissələri arasında qarşılıqlı təsirin və onun xarici təsirə mümkün reaksiyasının öyrənilməsidir.

İmitasiya modelləşdirilməsi yüksək dərəcədə ümumiliklə fərqlənir, geniş məsələlər sinfinə asanlıqla adaptasiya olunan unifikasiyon modelin hazırlanmasına zəmin yaradır, müxtəlif sinifli modellərin inteqrasiyası üçün vasitə kimi çıxış edir.

Öyrənilən proseslərin xarakterinə, öncəgörmənin müəyyənlik dərəcəsiindən asılılığına görə modellər determinik və stoxastik (ehtimal) modellərə bölünür.

Determinik modeldə vəziyyətin dəyişən kəmiyyətlərinin qiymətləri birmənalı (hesablama xətalalarının dəqiqliyinə qədər) təyin olunurlar. Bu vaxt istənilən təsadüfi təsirin yoxluğu nəzərdə tutulur və bunun nəticəsi olaraq məsələnin dəqiq həlli mümkündür. Beləliklə, determinik modellər elə modellərdir ki,

hər bir ilkin şərtlər toplusuna tək bir nəticə müvafiqdir. Lakin, ekologiyada proseslərin xarici təsirlərə əhəmiyyətli dəyişkənliyi müşahidə olunur, bunun səbəbi isə sistemin fəaliyyətinin nəticəsinə təsir göstərən bir çox amillərin paylanması təsadüfi xarakter daşıyır. Real şəraitdə hər bir idarə olunan amillərin müəyyən toplusuna idarə olunmayan amillərin (məsələn, hava şəraiti) qiymətlərindən asılı olan çıxış parametrlərinin çoxsaylı qiymətləri müvafiq olur.

Stoxastik modellərdə modelləşdirilən sistemin işinə təsir göstərən təsadüfi amillər nəzərə alınır. Stoxastik modelləşdirmə ehtimal olunan proses və halları əks etdirir. Bu vaxt təsadüfi prosesin bir sıra realizasiyası təhlil olunur və orta xarakteristikalar qiymətləndirilir. Stoxastik modeldə müvafiq paylanma qanunları ilə verilən bir və ya bir neçə təsadüfi dəyişən kəmiyyətlər iştirak edir. Bu isə öyrənilən parametrin orta qiyməti ilə bərabər, onun dispersiyasını da hesablamağa imkan verir. Determinik sistemlərdən fərqli olaraq stoxastik (ehtimal) sistemlərdə (məsələn, “torpaq-bitki-atmosfer” sistemi) idarə olunan amillərin eyni bir təsiri vaxtı idarə olunmayan xarici amillərdən asılı olaraq bir neçə müxtəlif nəticə alınma bilər. Stoxastik modellərə statistik modellər də deyilir. Bu modellər tədqiq olunan obyektə (və ya onun fiziki modelində) prosesin şəraitinin müəyyən dəyişmə diapazonunda alınan eksperimental məlumatların emalının nəticəsidir. Statistik modellər sadə struktura malikdir, ən çox hallarda isə polinom və ya digər üst dərəcələri formasında olurlar. Onların tətbiq olunma oblası şəraitin dəyişməsinin öyrənilən diapazonu ilə məhdudlaşır. Bu modellərin əhəmiyyəti baxılan sistemlərin dəyişkənliyinin əks edilməsindən ibarətdir.

Ümumiyyətlə isə sistemin davranışında nə qədər qeyri-müəyyənlik çox olarsa, onun da səmərəliliyi bir o qədər yüksək olur. Məsələn, stoxastik modellər çətin proqnozlaşdırılan hava şəraitinin təsiri altında olan sistemlərin davranışını səmərəli təsvir edirlər. Belə sistemlərə populyasiyaların dinamikasını,

kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığını, suvarma və drenaj sistemlərinin fəaliyyətini və s. aid etmək olar.

Burada qeid etmək olar ki, analitik modellərdən fərqli olaraq stoxastik modellərin reqressiya tənliklərinin parametrləri nadir hallarda öyrənilən sistemin mənasına uyğun gələn xüsusi empirik təsvirlər rolunda çıxış edir. İmitasiya modellərindən fərqli olaraq isə reqressiya tənlikləri qeyri-xətti çoxkomponentli sistemlərin strukturunun və dinamikasının təsviri üçün nəzərdə tutulmamışdır, lakin onun ayrı-ayrı funksiyalarını (düz xətti və əyri xətti tənlikləri) səmərəli formada təsvir edə bilər.

Zaman amilinə və özünü aparma xarakterinə görə riyazi modellər statistik və dinamik növlərə bölünür.

Statistik modellər ekoloji və hidrometeoroloji sistemlərin müəyyən andakı halını əks etdirir, dinamik modellər isə sistemin zaman görə inkişafını, hərəkətini öyrənir. Obrazlı ifadə ilə desək, birinci halda kinofilmədən bir kadrı, ikinci halda bütöv kinonu görürük. Zaman bir dəyişən kəmiyyət kimi bu modellər də kəsilməz və ya diskret şəkildə iştirak edə bilər.

Vəziyyətin dəyişən kəmiyyətlərinin vaxta görə təsviri xarakterinə görə riyazi modellər diskret və fasiləsiz modellərə bölünür:

Diskret modelləşdirmə diskret prosesləri təsvir edir. Diskret modellərdə zaman diskret dəyişən kimi təqdim olunur və müşahidələr müəyyən fiksasiya edilmiş vaxt intervallarında (hər saatdan bir, hər il, 10 ildən bir və s.) aparılır. x_n dəyişənini daxil edək. Məsələn, o, n uzunluğa malik dövrün sonunda populyasiyanın sayını göstərir. Onda, $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}, \dots$ -ədədlər ardıcılığı vaxta görə populyasiyaların inkişafını təsvir edir. Praktikada adətən başlanğıc dövrdə populyasiyanın sayı və müxtəlif vaxt dövrlərində populyasiyanın artım sürəti məlum olur.

Fasiləsiz modellərdə vəziyyətin dəyişən kəmiyyətinin qiymətlərini baxılan vaxt intervalının istənilən anı üçün hesablamaq olar. Onlar bir qayda olaraq bir və ya bir neçə differensial tənliklər kimi təqdim olunur. Bu hal o vaxt düzgün ola

bilər ki, populyasiyanın sayını fasiləsiz əyrilər kimi təqdim etmək mümkün olunsun. Bu isə ancaq lazımi qədər çoxsaylı populyasiyalar üçün mümkündür. Fasiləsiz modellərdə populyasiyaların sayı və ya yaşayış sıxlığı vaxta görə v_0/v_1 ya məkan koordinatlarına görə fasiləsiz funksiya hesab olunur.

Xarici şərtlər, daxili parametrlər və axtarılan xarakteristikalar arasındakı münasibətlərin ifadə üsuluna görə riyazi modellər iki əsas növə - **struktur və funksional modellərə** bölünür.

Struktur modellər obyektin daxili quruluşunu (onun tərkib hissələrini, daxili parametrlərini, onların "giriş" və "çıxış" arasında əlaqələrini və s. əks etdirir. Onların üç növünü ayırmaq mümkündür:

-bütün məchullar obyektin daxili parametrlərinin və xarici şərtlərin aşkar funksiyaları şəklində ifadə olunurlar. Onlar modelin analitik həllini verir. Şübhəsiz ki, həllin sadə formada alınması həm praktiki nöqteyi-nəzərdən və həm də əyanilik baxımından çox cəlbədidir, lakin belə həllərin alınması imkanları xeyli məhdudur. Hətta, ilk baxışda sadə görünən riyazi məsələlərin həllini həmişə analitik düstur şəklində ifadə etmək mümkünənsüzdür.

-məchulları məlum münasibətlər (tənliklər, bərabərsizliklər və s.) sistemindən birgə təyin olunurlar. Birinci növə məsələyə gətirilə bilməyən bu tipli məsələləri həll etmək üçün müvafiq alqoritm tapılmalıdır.

Funksional modellər funksional nisbətlər (məsələn, tənliklər) sistemləri ilə təsvir olunurlar.

Riyazi asılıqların forması baxımından riyazi modellər daha müxtəlifdir: xətti, qeyri- xətti, qabarıq və s. Təhlil və hesablamalar nöqteyi-nəzərindən xətti modellər daha geniş yayılmışdır. Xətti və qeyri-xətti modellər arasındakı fərq təkcə riyazi deyil.

1.4. Modelləşdirmə üsulları

Maddi modelləşdirmə və model eksperimentləri. Elmi tədqiqatlarda maddi modellərin istifadə edilməsinin ən vacib qaydalarından biri onların “model eksperimentləri” adlanan məsələlərin həllində tətbiqidir. Belə ki, model digər, yəni həqiqi obyektə əvəz etdiyi üçün tədqiqat obyektidir. O, həm də həqiqi obyektin xassələrini öyrəndiyi üçün eksperiment vasitəsi kimi çıxış edir. Məsələn, mexanikada model eksperimentinin əsası kimi *oxşarlıq nəzəriyyəsi* çıxış edir. Bu nəzəriyyə keyifyyətə bircins hadisələr və eyni hərəkət formasına malik sistemlər arasında nisbətləri müəyyənləşdirir. Bütün bunlara görə aerodinamik boru kimi hidrodinamik hövzə quruğuları geniş tətbiq olunur. Bu sistemlər olmadan isə avtomobil və təyyarəqayırma sənayesini (aerodinamik boru) və su kanalları, su anbarları və su elektrik stansiyalarının layihələndirilməsini (hidrodinamik hövzə) təsəvvür etmək mümkün deyil.

Xəyali (əqli) eksperiment. Model eksperimentlərində maddi modellərdən başqa, digər vasitələrdən də istifadə olunur. Xəyali (əqli) modelin xarakterik xüsusiyyətinə, onun xəyali eksperimentlərdə istifadə edilməsi imkanları aiddir. Sonuncunun strukturu real eksperimentin strukturuna tam uyğun gəlir. Fərq isə oından ibarətdir ki, həm bu və model, həm də eksperiment şəraiti (məsələn, ideallaşdırılmış “cihazlar” və “alətlər”) də xəyali (əqli) qurulmalardır.

Xəyali (əqli) eksperiment elə bir şəraitlər məcmusudur ki, onlar ya müşahidə oluna, ya da praktiki olaraq həyata keçirilə bilməzlər. Buna görə də belə bir xəyali (əqli) eksperiment üçün bütün tipik mülahizələr ancaq obyektiv imkanlar çərçivəsində həyata keçirilməlidir. Belə eksperimentin xarakterik xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, burada bir çox hallarda “xarici şəraitlər” və “cihazlar” arasında fərqlər silinir. Öldə olunan belə sadələşdirilmələr xəyali (əqli) eksperimenti modelin özündən çox az fərqli edir.

Biologiyada xəyali (əqli) eksperimentləşdirmənin ən məhsuldar tətbiqi XX əsrin ortalarından mümkün olmuşdur. Bunun başlıca səbəbi isə EHM-nın və tədqiqatların riyazi üsullarının inkişafı və geniş tətbiqidir. Canlı obyektlərin öyrənilməsi vaxtı bu növ eksperimentin yayılmasını (xüsusilə də kömpüter eksperimentləri formasında), onların həddən artıq mürəkkəbliyi ilə izah etmək olar ki, bu da nəzəri tədqiqatların zəruriliyini şərtləndirir.

Kömpüter eksperimentlərinin reallaşdırılması forması imitasiya modelləşdirilməsidir. Müasir imitasiya model-ləşdirilməsi ənənəvi riyazi modelləşdirmənin yeni kompüter texnologiyaları ilə birləşməsidir. İmitasiya modeli öyrənilən prosesin və ya sistemin tərkib hissələrini təşkil edən real sadə hadisələri imitasiya edən alqoritmlər və ya funksiyalar toplusu ilə təsvir edilir. Bu vaxt onların məntiqi strukturu və vaxta görə gedişi ardıcılığı mütləq saxlanılır.

Kömpüter modelləşdirilməsi üsulları. Kömpüter model-ləşdirilməsi anlayışı ənənəvi “EHM-də modelləşdirmə” anlayışından daha geniş izaha malikdir. O, mürəkkəb sistemin təhlili və ya sintezi məsələlərinin onun kömpüter modeli əsasında həlli üsuludur. Kömpüter modelləşdirilməsinə riyazi modelləşdirmə, imitasiya modelləşdirmə və stoxastik modelləşdirmə kimi baxmaq olar. “*Kömpüter modeli*” termini altında real obyektin və müəyyən bir obyektlər (və proseslər) sisteminin tənliklər, bərabərsizliklər, məntiqi nisbətlər, qarşılıqlı əlaqəli kömpüter cədvəlləri, diaqramları, qrafikləri, şəkilləri, animasiya fraqmentləri və s. köməyi ilə təsvir olunan və obyektin strukturu və onun elementləri arasında qarşılıqlı əlaqələrin şərti təsviri başa düşülür. Tənliklərin, bərabərsizliklərin, məntiqi nisbətlərin, qarşılıqlı əlaqəli kömpüter cədvəllərinin, diaqramların, qrafiklərin, şəkillərin köməyi ilə təsvir olunan kömpüter modellərini riyazi modellər adlandırmaq olar.

Qarşılıqlı əlaqəli kömpüter cədvəlləri, diaqramları, qrafikləri, şəkilləri, animasiya fraqmentləri və s. köməyi ilə təsvir

olunan və obyektin strukturunu və onun elementləri arasında qarşılıqlı əlaqələrin şərti təsvirinin kömpüter modelləri struktur-funksional modellər adlanır.

Hesablama ardıcılığının və onun işinin nəticələrinin qrafiki təsvirinin köməyi ilə tədqiq olunan obyektə bir qayda olaraq təsadüfi amillərin təsiri vaxtı obyektin (obyektlər sisteminin) fəaliyyətini yenidən hasil edən (imitasiya edən) kömpüter modelləri (ayrı-ayrı proqram, proqramlar toplusu, proqram kompleksi) imitasiya modelləri adlanır. Beləliklə, kömpüter modelləşdirilməsinin məğzinin mövcud olan model əsasında kəmiyyət və keyfiyyət nəticələrinin alınmasından ibarət olduğunu göstərmək olar.

Kəmiyyət nəticələri əsasən mövcud mürəkkəb sistemin təhlili və ya bir sıra dəyişən kəmiyyətlərin gələcək qiymətlərinin proqnozu kimi xarakter daşıyır. Araşdırmaların keyfiyyət təhlili isə mürəkkəb sistemin əvvəlcədən məlum olmayan xassələrini (onun strukturunu, inkişaf dinamikasını, dayanıqlığını, tamlığını və s.) aşkar edir. Keyfiyyət xassələri ilə bərabər, kəmiyyət xarakteristikalarının da alınması imitasion modelləşdirməsinin struktur – funksional modelləşdirmədən əhəmiyyətli dərəcədə fərqləndirir.

Kompüter modelləşdirilməsinin metodologiyasını sistemli təhlil təşkil edir və burada dominant rol sistem təhlilçilərinə ayrılır. Sistemli təhlilin mərkəzi proseduru isə real sistemin bütün amillərini və qarşılıqlı əlaqələrini əks etdirən ümumiləşdirilmiş modelin hazırlanması təşkil edir. Kömpüter modelləşdirilməsinin predmeti istənilən mürəkkəb sistem, obyekt və ya proses ola bilər, o, real mürəkkəb sistemin bütün xassələrini, əsas amillərini və qarşılıqlı əlaqələrini, meyarlarını, məhdudiyətlərini əks etdirməlidir.

Kompüter modelləşdirilməsi tədqiqatların müxtəlif sahələrində qərarların hazırlanması və qəbul edilməsi üçün istifadə olunan metodoloji yanaşmaların və texnoloji vasitələrin məcmusunu təkilf edir. Qarşıya qoyulan məsələnin həlli və ya

sistemin tədqiqi üçün modelləşdirmə üsulunun seçilməsi aktual məsələ olaraq qalır və onun seçilməsini sistem təhlilçisi bacarmalıdır.

Keyfiyyət modelləşdirilməsi. Keyfiyyət modelləşdirilməsi informasiyanın mövcudluğuna ən az tələbatı olan modelləşdirmədir. Onun istifadəsi üçün ancaq dəyişən kəmiyyətlərin daxil edilməsi və onlar arasında əlaqələrin müsbət (A kəmiyyətinin artması B –nin artmasına səbəb olur), mənfi (A kəmiyyətinin artması B –nin azalmasına səbəb olur) və ya neytral (A kəmiyyətinin artması B -yə birbaşa təsir etmir) olması məsələsini həll etmək lazımdır.

Qarşılıqlı təsirlər effektinin amplitudasını (A kəmiyyətinin iki dəfə artması B –nin iki dəfə azalmasına səbəb olur və s.) daxil etməklə bu üsulu təkmilləşdirmək olar. Bu üsulu böyük miqdarda kəmiyyət detallarının nəzərə alınması üçün istifadə etmək olar, lakin bu halda o, daha çox imitasion xarakter daşıyacaq, nəinki keyfiyyət.

Bu üsulun üstünlüyü ondan ibarətdir ki, imitasiya modelinin işlənilməsi üçün informasiyanın lazımı miqdarda olmadığı halda, o, sistemin dinamikası ilə dəyişən kəmiyyətlər arasındakı qarşılıqlı təsirlərin xarakteri arasında əlaqələri izləməyə imkan verir.

İmitasiya modelləşdirilməsi. Yuxarıda göstəriləyi kimi, imitasiya modelləşdirilməsinin məğzi kömpüterlərin köməyi ilə baxılan obyekt barədə istənilən empirik biliklərin formalizasiya edilməsindən ibarətdir. İmitasiya modelləri öyrənilən hadisənin “bizim dərk etmə həddində” tam formalizasiyalı təsvirindən ibarətdir.

İmitasiya modelləşdirilməsi vaxtı mürəkkəb sistemləri alt sistemlərə bölürlər, buna görə də model müəyyən bir alt modellər kompleksi kimi görünür. Altmodellər hazırlanarkən, onların hər biri üçün müxtəlif riyazi aparatdan istifadə olunur. Bu vaxt bir sıra proseslərin xarakteri barədə məlumatlar müxtəlif elmi mənbələrdən məlumdur, digəriləri barədə demək olar ki,

heç nə məlum deyil. Bunlarla bərabər, bir sıra qarşılıqlı əlaqələri sadə funksiyaların köməyi ilə adekvat təsvir etmək olar, digərilərinin təhlili isə mürəkkəb riyazi aparat tələb edir. Elə bu vəziyyət də imitasion modelləşdirmədən təhlil üsulu kimi istifadə olunmasına gətirib çıxarır. İmitasiya modellərinin köməyi ilə funksiyalar və əlaqələr üzərində manipulyasiyalar aparmaq və mövcud bilgilərdən daha tam istifadə etmək olar.

İmitasiya modelləri o hallarda tətbiq olunur ki, tədqiq olunan sahədə böyük miqdarda nəzəri və eksperimental işlərdən istifadə etmək və modelləşdirmə zamanı istifadə olunan bütün dəyişən kəmiyyətlər arasında əlaqələrin funksional təqdimini əsaslandırmaq mümkün olsun. Qeyd etmək olar ki, bir çox hallarda bu dəyişən kəmiyyətlər arasındakı əlaqələr onlar arasındakı statistik asılılıqların öyrənilməsinin nəticəsidir.

İnformasion modelləşdirmə üsulları. İnformasion modelləşdirmə öyrənilən obyektə informasiyanın toplanılması, saxlanılması, emalı və ötürülməsi proseslərinin tədqiqi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Onun əsasında üç postulat yerləşir: - istənilən məğz elementlərdən (obyektlərdən) təşkil olunub; -obyektlər kəmiyyət və keyfiyyət xassələri ilə xarakterizə olunur; -obyektlər müəyyən əlaqələrlə bağlıdır. İstənilən məğz bu postulatlarla cavab verirsə, onlar informasion model vasitəsilə təqdim oluna bilər.

İnformasion modellər təsnifat (statistik) və dinamik modellərə bölünür. Təsnifat (statistik) modelləri diaqnostika, obrazların tanınması, sxemlərin təhlili kimi məsələlərin həlli üçün hazırlanır. Məsələn, üzvi dünyanın təsnifatı: bakteriyalar – göbələr- yosunlar – bitkilər- heyvanlar- insan. Dinamik modellər proqnozlaşdırma və idarəetmə kimi məsələlərin həlli üçün xidmət edir. Məsələn, texnoloji proseslərin idarə edilməsinin avtomatlaşdırılması sistemi.

İnformasion modellərin hazırlanması üçün aşağıdakılar mövcuddur: qrafik, şəbəkə, matritsa, qrafo-analitik, ehtimal, imitasiya üsulları. Qrafik üsula qrafik hissə və təsvir daxildir.

Şəbəkə üsulu aparılan işlərin məntiqi-zaman ardıcılığını əks etdirir. Matritsa üsuluna sənədlərin toplanmasını, onlara sənədləşdirilməmiş məlumatların əlavə edilməsi və qurulmuş matritsanın təhlili aiddir. Qrafo-analitik üsul modelin istiqamətlənmiş qraf formasında, sonrakı aralıq və yekun göstəricilərin hesablanmasını da nəzərə almaqla, qurulmasını nəzərdə tutur. Ehtimal üsulu informasiya axınlarının təsadüfi xarakter daşdığı (kütləvi xidmət nəzəriyyəsi) informasiya sistemlərinin təhlili üçün tətbiq olunur. İmitasiya üsulu real prosesləri imitasiya etməyə və modellərin yaradılması üçün başlanğıc məlumatların (məsələn, avtomobil idarə etmənin imitatorunda səhv hərəkətlərin faizinin hesablanması) generasiyasına imkan verir.

Sistemli modelləşdirmə üsulu. Sistemli modelləşdirilmə dedikdə – sirri aşkar etmək, insan daxilində yaşayan emosiya və duyğuların təsiri altında kor-koranə hərəkətlərə son qoymaq, həyatı dərk edilən hala çevirmək kimi başa düşülür. Məsələn, insanın sistemli modelləşdirmə üzrə seminarda iştirak etməsi ona sistemli qanunlar barədə məlumat verir. O qanunlar mürəkkəb deyil, lakin onların pozulması insan və ətraf mühit üçün ağır fəsadlara yol açır.

Sistemli modelləşdirmənin əsas prinsipləri aşağıdakılardır:

1. Sistemlə işdə baza prinsiplərinin üç “qanunu” var: aidiyyətlik (baxılan hər bir müddəə bərabər dərəcədə sistemə aiddir); nizam-intizam, (sistemdə müəyyən bir nizam-intizam var); “vermək” və “almaq” arasında balans.

2. Əgər hər hansı bir səbəbdən bir və ya bir neçə “qanun” pozularsa, onda müəyyən dinamikalar əmələ gəlir. Bu dinamikaların mənası ondan ibarətdir ki, sistem çalışır ki, sistemin fəaliyyətdə qalmasını, yoxa çıxmasını maksimal təmin etsin. Əlavə qeyd etmək olar ki, sistem tarixi tamlıq funksiyasına malikdir. Aşağıda göstərilənlər yaxşı məlum olan dinamikalara aiddirlər:

- başqasının əvəzinə nə isə götürmək;

- sistemdən xaric olunmuşun ardınca getmək;
 - mən bunu sənin əvəzinə edərəm;
 - üstünlük hiss etmək;
 - kimisə getməkdən çəkəndirmək;
 - yenə də kiminsə əvəzinə tapşırığı yerinə yetirmək;
3. Bu dinamikalardan aşağıdakı simptomlar yaranır:

- gücü itirmə;
- liderliyin çatışmazlığı;
- məqsədə çatmağın mümkünsüzlüyü;
- münaqişələr;
- fəaliyyətin və ya istiqamətin dəqiqlik çatışmazlığı.

Ekspert modelləşdirilməsi üsulu. Ekspert modelləşdirməsi ən çox hallarda təbiətdən istifadənin proqnozlaşdırılması məsələsinin həllində tətbiq edilir və aşağıdakı məsələlərin həlli üçün istifadə olunur.

1. Məhsulun istifadə olunma xassələrinin əsaslandırılmış layihələndirilməsi və prioritetlərinin (ilk əvvəl – funksional) müəyyənləşdirilməsi.

2. Bir sıra tələbatların nəzərə alınmaması və ya onların aktuallığının lazımı səviyyədə qiymətləndirilməməsi risklərinin azaldılması.

3. Məhsulun auditoriyanın tələblərinə daha dəqiq uyğun gəlməsi.

4. Auditoriyanın əhatəsinin genişləndirilməsi.

5. Gəlirlərin artırılması.

6. Strateji planlaşdırma, o cümlədən perspektiv tədqiqatlar üçün əsasların alınması.

Ekspert modelləşdirilməsinin ən geniş istifadə olunan üsullarından biri ABŞ-da işlənmiş “Delfi” üsuludur. O, bir çox ekspertlərin fikirlərini ümumiləşdirməyi və vahid nöqtəyi -nəzəri formalaşdırmağa imkan verir. Bu üsulun əsas xüsusiyyətlərinə aiddir:

- anonimlik;

- qrup iştirakçılarının öz qiymətləndirilmələrinin sərbəst korrekte etməsi imkanı;
- qrup qiymətləndirilmələrin nəticələrinin statistik təhlil imkanı.

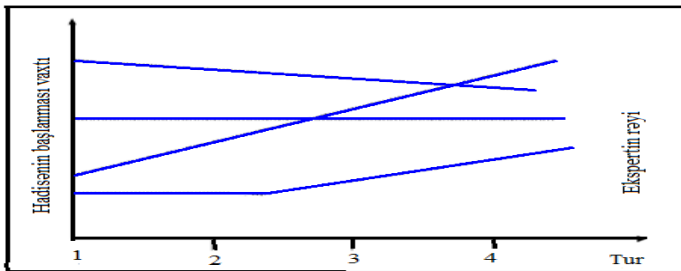
Bu üsula görə proqnozlaşdırma prosesi bir neçə turda həyata keçirilir. İlk olaraq problem müəyyənləşdirilir və ekspertlərin siyahısı tərtib olunur.

Birinci turda təqdim olunmuş anketlərdə eyni bir suala cavab verilməsi təklif olunur. Sorğu qiyabi də keçirilə bilər. Doldurulmuş anketlər toplanır və təhlil olunur. Əgər proqnozda hər hansı bir tarixin göstərilməsi lazımdırsa, onda alınmış cavablar statistik təhlilə məruz qalır. Ümumiləşdirilmiş fikir bütün ekspertlərin fikrinə maksimal yaxın olan rəqəmlə təqdim olunur.

İkinci turda ekspertlərə 1-ci turun nəticələri təqdim edilir və onlara digər ekspertlərin anonim fikirləri nəzərə alınmaqla yenə də hadisənin başlanması dövrünə qiymət verilməsi təklif olunur. Bu vaxt nəyə görə hadisənin bu və ya digər müddətə başlanmasının proqnozlaşdırılmasının xeyrinə olan arqumentlərin göstərilməsi təklif olunur. Sonra anketlər yığılır və irəli sürülən təklifin xeyrinə olan arqumentlər sistemləşdirilir və sonrakı turlarda ekspertlərin diqqətinə çatdırılır.

3-cü və 4-cü turlar 2-ci tura analogi olaraq keçirilir.

Turların sayı hadisənin başlanması vaxtının sonrakı dəqiqləşdirilməsi zəruriyyətindən və imkanlarından asılıdır. Hər bir turdan sonra yığma proqnoz tərtib olunur (şəkil 1.4).



Şəkil 1.4. Proqnozun tərtib olunması sxemi

Bu şəkildən görünür ki, ekspertlərin fikri digər ekspertlərin fikri ilə tanış olduqdan sonra eyni bir suala cavabları dəyişə bilər. Son nəticədə ekspertlərin fikirlərində tədricən yaxınlaşma baş verir. Bu üsul daha az subyektivdir, lakin, lazımı səviyyədə dəqiq deyil.

Məntiqi modelləşdirmə üsulları. Məntiqi modelləşdirmə üsulları proqnozlaşdırılan obyektin ortaya çıxarılmış səbəb- nəticə asılılıqları, vahid və ümumi qarşılıqlı əlaqələr, məntiqin ümumi qaydaları (təhlili, sintezi, deduksiyası, induksiyası və s.) əsasında inkişafının keyfiyyət təsviri üçün istifadə olunur. Məntiqi modelləşdirmə üsullarına proqnostik ssenarilərin hazırlanmasını, tarixi analogiyalar üsulunu və nümunəyə (etalona) görə proqnozlaşdırmanı aid edirlər.

Proqnostik ssenarinin əsas təyinatı başlıca məqsədin təyin olunmasından və ona çatmağın ardıcılığından ibarətdir. Bu problemin həlli üçün məqsədli və sistemli yanaşmadan istifadə olunur. Ssenarinin işlənməsində mütəxəssislər qrupu iştirak edir. Onların müzakirələrində nə qədər az fikir ayrılığı olarsa, ssenari bir o qədər dəqiq olar. Ssenarinin son variantını təhlil edərək, əsas məqsədi müəyyənləşdirmək və bundan sonra proqnozlaşdırmaya başlamaq olar.

Proqnostik ssenari ilə sıx əlaqəli olan anlayışlara “**məqsədlər ağacı**” və “**proqnoz qrafı**” anlayışları aiddir. Nöqtələrdən (zirvələrdən) ibarət olan və bu nöqtələri xətt hissələri vasitəsilə birləşdirən fiquru qraf adlandırılır. «Ağac» dedikdə ilgəli olmayan istiqamətlənmiş qraf başa düşülür. Onun hər bir zirvə cütünü tək bir xətt hissəsi ilə birləşdirilir. «Məqsədlər ağacı» isə məqsədə çatmanın zirvələri (mərhələləri) arasında münasibətləri ifadə edən qraf-ağacdır. «Məqsədlər ağacını» bir neçə iyerarxik səviyyələri seçilən obyektlərin təhlilində istifadə edirlər. “Məqsədlər ağacı” qurularkən, bir zirvədən (mərhələdən) ayrılan budaqlar bir-birini qarşılıqlı inkar edən olmalı qapalı çoxluq yaratmalıdır. Buna nümunə kimi kənd təsərrüfat təyinatlı torpaqların səmərəli istifadəsinin proqnozlaşdırılmasını

aid etmək olar. Bu vaxt “məqsədlər ağacı” başlıca məqsədə çatmanın, yəni – kənd təsərrüfatı torpaqlarının səmərəli istifadəsinin ardıcılıq sırasını müəyyənləşdirir. Məsələn, birinci mərhələdə torpaqların torpaqdan istifadəçilər və torpaq mülkiyyətçiləri qrupları arasında səmərəli bölüşdürülməsi, sonrakı mərhələlərdə isə - torpaqların paylanmasından sonra onların səmərəli istifadəsini təmin edən tədbirlərin yerinə yetirilməsi nəzərdə tutulur.

Tarixi analogiya üsulu da müəyyən tətbiq sahələrinə malikdir. Bu üsuldən istifadə etməklə obyektin gələcək vəziyyətinin proqnozu analogi inkişaf nümunəsi əsasında hazırlanır. Bu vaxt baxılan obyektlər müəyyən oxşarlığa malik olmalı, təxminən eyni şəraitdə inkişaf etməlidirlər. Bu vaxt obyektlərin mexaniki oxşarlığına yol verilməməli, ancaq baxılan obyektlərin yerli şəraitin (iqtisadi, təbii-iqlim və s.) təhlilindən və müqayisəsindən sonra “nümunənin” qəbul edilməsi imkanlarına baxılmalıdır.

Nümunəyə (etalona) görə proqnozlaşdırma üsulu torpaq ehtiyatlarının istifadəsinin proqnozlaşdırılması vaxtı geniş tətbiq olunur. Bu işlər təcrübə toplamağa, analog - ərazilərin müəyyənləşdirilməsinə, normativlərin və xüsusi göstəricilərin işlənilməsinə imkan verir və onlar da oxşar şəraitli digər obyektlərin vəziyyətinin proqnozlaşdırılması üçün istifadə oluna bilər. Bu üsulla proqnozlaşdırma nümunəsinə ərazilərin eroziyaya qarşı təşkilinin eksperimental layihələndirilməsini aid etmək olar. Belə ki, bu halda prinsipial müddəalar və onun işlənilməsi metodikası hazırlanmış olur. Bu layihəni konkret təbii-iqlim şəraitinə tətbiqi cəhətdən analogi proyektlərin işlənilməsində nümunə qismində istifadə etmək olar.

1.5. Modelləşdirmənin tətbiqi sahələri

Riyazi modelləşdirmənin müxtəlif sahələrdə tətbiqinin nümunələrinə aşağıdakıları aid etmək olar:

- *energetika*: nüvə reaktorlarının idarə edilməsi, istilik-nüvə proseslərin modelləşdirilməsi, energetik proseslərin proqnozlaşdırılması, enerji ehtiyatlarının idarə edilməsi və s.;

- *iqtisadiyyat*: iqtisadi və sosial-iqtisadi proseslərin, banklararası hesablamaların avtomatlaşdırılmasının və s. modelləşdirilməsi və proqnozlaşdırılması;

- *kosmonavtika*: kosmik aparatların trayektoriyalarının hesablanması və onların uçuşlarının idarə edilməsi, uçan aparatların konstruksiyalarının modelləşdirilməsi, peyk məlumatlarının emalı və s.;

- *tibb*: epidemiyaların, infeksiyon xəstəlik proseslərinin modelləşdirilməsi və proqnozlaşdırılması, müalicə proseslərinin idarə edilməsi, xəstəliklərin diaqnostikası və müalicənin optimal strategiyasının işlənilməsi və s.;

- *istehsalat*: texniki və texnoloji proseslərin və sistemlərin, ehtiyatların idarə edilməsi, istehsalın optimal proseslərinin planlaşdırılması və proqnozlaşdırılması və s.;

- *ekologiya*: ekoloji sistemlərin və proseslərin çirklənməsinin modelləşdirilməsi, ekoloji sistemdə səbəb-nəticə əlaqələrinin proqnozlaşdırılması, sistemin bu və ya digər ekoloji amillərinə təsirinə cavab reaksiyasının öyrənilməsinin həyata keçirilməsi.

Modelləşdirmə prosesində, o cümlədən, modellərin qurulmasında kömpüter texnologiyaları böyük rol oynayır. Təsadüfüdür ki, bu gün əksər elm sahələrində aparılan müəmməl tədqiqatların əsasını kömpüter modelləşdirilməsi, kömpüter texnologiyaları əsasında riyazi modelləşdirmə və hesablama sınağı təşkil edir.

Mürəkkəb sistemlərin fəaliyyət prosesi kömpüter texnologiyaları əsasında realizə olunan müəyyən alqoritm şəkilində göstərilir ki, bu da imitasiya modelləşdirilməsinin mahiyyətini təşkil edir. İmitasiya modelləşdirilməsi kifayət qədər çevik modelləşdirmə üsuludur. Onun əsas ideyasını sistem haqqında bütün mövcud informasiyadan maksimum istifadə etmək əsasında

analtik çətinlikləri dəf etmək imkanı qazanmaq və sistemin fəaliyyətinə dair qoyulan bütün suallara cavab tapmaq təşkil edir. Araşdırılan proses üçün obyektin elementlərinin qarşılıqlı əlaqəsini imitasiya edən və verilən D və X parametirlərinə görə Y məchulunu təyin etməyə imkan verən müəyyən modelləyici alqoritim (kömpüter texnologiyaları üçün) qurulur. Bu zaman bütün prosesin ayrı-ayrı hissələrinin və onların əlaqələrinin təsviri üçün “adi “riyazi modellərdən istifadə oluna bilər. İmitasiya sistemləri ilə iş kömpüter texnologiyaları əsasında həyata keçirilən eksperimentdən ibarətdir. Onun gedişində modelin ekzogen dəyişənləri, parametirləri variyasiya edilir, strukturu təkmilləşdirilir, qəbul edilmiş fərziyyələr dəqiqləşdirilir.

II FƏSİL. MODELLEŞDİRMƏDƏ SİSTEMLİ YANAŞMA

2.1. Sistem anlayışı və mürəkkəb sistemlərin əsas xassələri

Sistem anlayışı. Ekoloji problemlərin həlli zəruriliyi riyaziyyatçılardan ekoloji proseslərin tədqiqində xüsusi üsulların işlənilməsini, riyazi modellərin tədqiqini tələb edir. Belə üsulların işlənilməsi üçün əsas kimi idarəetmə nəzəriyyəsi, oyunlar nəzəriyyəsi, sistemlər nəzəriyyəsi, riyazi statistika və fundamental tədqiqatlar istifadə olunur.

Ekoloji proseslərin modelləşdirilməsində ən geniş istifadə olunan istiqamətlərdən biri sistemli yanaşma və sistemli təhlil yanaşmalarıdır.

«*Sistem*» (yunan sözündən *systema* – tam, tərkib hissələrdən təşkil olunmuş) ən vacib fəlsəfi-metodoloji və xüsusi elmi anlayışlardan biridir.

Məlumdur ki, bizim dünya çoxformalı obyektlərlə zəngindir. Obyektlərə nisbətdə daha tez-tez “sadə obyekt”, “mürəkkəb obyekt” kimi anlayışlardan istifadə olunur. Mürəkkəb əşya daha sadə əşyaların çoxluğundan ibarətdir. Məsələn, kərpic sadə obyekt, sükan, təkərlər və s. –də sadə obyekt, avtomobil isə -mürəkkəb. Beləliklə, hər bir obyekt digər obyektlərdən, yəni sistemdən ibarətdir.

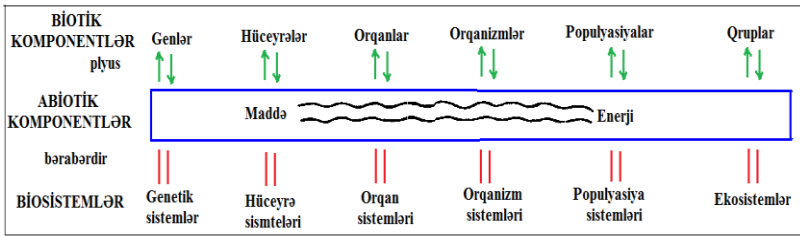
Sistem – müxtəlif qarşılıqlı bağlı olan hissələrdən (elementlərdən) ibarət olan mürəkkəb obyekt. Hər bir sistemin müəyyən təyinatı (məqsədi) var. Bunlardan əlavə, hər bir obyekt özünün hissələrinin tərkibi ilə təyin olunmaqla bərabər, bu hissələrin vahid bir tam əşyaya birləşdirən qayda və üsullar da vardır.

Dünyanın iyerarxik strukturu səbəbindən sistemin elementi də özünün elementlərindən ibarət olan başqa bir sistemdir. Sistemin fiksasiyası dünyanı iki hissəyə bölür: *sistemə və mühitə*. Sistemin identifikasiyası üçün bir meyar da müəyyənləşdirmək lazımdır və bu “*kompozisiya qanunu*” adlanır. Bu qa-

nunun seçilməsi həmin obyektləri müxtəlif sistemlərdə birləşdirmək imkanı yaradır.

Praktiki olaraq istənilən obyektə sistem kimi baxmaq olar, baxmayaraq ki, onun özü daha mürəkkəb sistemin elementidir. Məsələn, ağac çoxlu sayda elementlərdən təşkil olunmuş ekosistemdir. Eyni zamanda ağac daha mürəkkəb meşə ekosisteminin elementidir.

Canlı komponentlərdən (bioloji sistemlər) ibarət olan sistem şəkil 2.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.1. Bioloji sistemlərin sxematik təsviri

Hər bir sistem müəyyən bir *strukturla* (elementlər və onlar arasında qarşılıqlı əlaqələr) və *davranışla* (vaxta görə sistemin dəyişməsi) təyin olunur. Sistemin strukturu - onun elementləri arasında əlaqələrin məcmusu deməkdir. Struktur qarşıya qoyulan məqsəddən asılıdır.

Sistemləri şərti olaraq aşağıdakılara bölmək olar:

- **böyük sistemlər** – özünə əhəmiyyətli sayda eyni növ elementlər və eyni növ əlaqələr daxil edən sistemdir;

- **mürəkkəb sistemlər** – müxtəlif növ elementlərdən təşkil olunan və onlar arasında müxtəlif növlü əlaqələrə malik olan sistemdir. Onların xarakterik xüsusiyyəti onun tərkib hissələrində olmayan funksiyalara malik olmasıdır;

- açıq sistemlər – burada ətraf mühitlə maddə, enerji və informasiya mübadiləsi baş verir.

Mürəkkəb sistemlərin əsas xassələri. Müasir zamanda “sistem” anlayışı elmdə tam olaraq müəyyən edilməmişdir. Bu

səbəbdən də alimlər tərəfindən mürəkkəb sistemlərin tədqiqinə başlanılmışdır. Bu məqsədlə mürəkkəb sistemlərin özünəməxsus əsas xassələri müəyyənləşdirilmişdir. Sistemli təhlil nöqtəyi-nəzərdən onlar aşağıdakılardır.

Bütövlük (tamlılıq) və hissələrə bölünmə. Mürəkkəb sistemlərə elementlərin öz aralarında böyük miqdarda qarşılıqlı əlaqəli və qarşılıqlı təsirdə olan tam (bütöv) elementlər toplusu kimi baxılır. Tədqiqatçıda isə sistemin altsistemlərə, məqsədlərə bölməsi kimi subyektiv imkanlar mövcuddur.

Əlaqələr. Öz əlaqə gücünə baxılan sistemə (xarici mühitə) daxil olmayan elementləri üstələyən digər elementlər və (ya) onlar arasında əhəmiyyətli dayanıqlı əlaqələrin olmasını göstərir. “Əlaqələr” sözü altında müəyyən bir virtual kanal və bu kanalla elementlər və xarici mühit arasında maddə, enerji, informasiya mübadiləsinin həyata keçirilməsi başa düşülür.

Təşkilat. Bu xassə müəyyən təşkilatın – elementlərin əhəmiyyətli əlaqələrinin formalaşması, vaxta və məkana görə elementlərin nizamlı paylanması mövcudluğu ilə xarakterizə olunur.

İnteqrativ keyfiyyətlər. Bu xassənin mövcudluğu, yəni bütöv sistemə xas olan, ayrı-arıqlıqda isə onun elementlərinə xas olmayan keyfiyyətlərdir. İnteqrativ keyfiyyətlərin mövcudluğu göstərir ki, sistemin xassələri elementlərin xassələrindən asılı olsa da onlar vasitəsilə tam olaraq təyin edilmirlər.

2.2. Sistemlərin təsnifatı

Sistemlərin təsnifatı. Sistemin təsnifatlaşdırılması vaxtı əsas üç növ seçilir: *süni, təbii, qarışıq sistemlər* (cədvəl 2.1).

Süni sistemlər – insanların öz məqsədləri üçün hazırladıqları sistemlərdir.

Təbii sistemlər – insanların iştirakı olmadan təbiətdə yaranan sistemlərdir (ekosistemlər). Təbii sistemlərin təsnifatına əlavələr oluna bilər. Məsələn, *virusa* həm canlı, həm də cansız sistem kimi baxmaq olar.

Sistemlərin təsnifatı

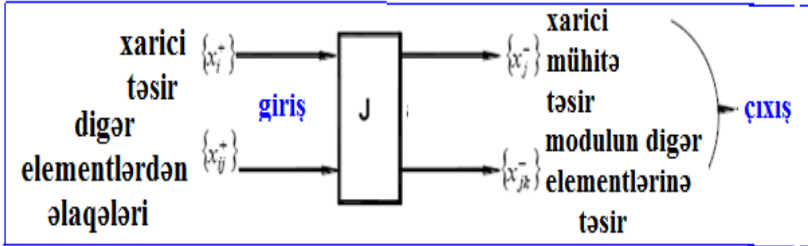
Sistemlərin növləri		
Süni	Təbii	Qarışıq
alətlər	canlılar	erqonomik
mexanizmlər	cansızlar	biotexniki
maşınlar	sosial	təşkilati
avtomatlar	ekoloji	avtomatlaşdırılmış
robotlar, kömpüterlər	topoloji	texnoloji

Qarışıq sistemlər – bunlara erqonomik (maşın-operator), biotexniki (onlara həm canlı orqanizmlər, həm də texniki qurğular daxildir), təşkilati (lazımi vasitələrlə təmin olunmuş insan kollektivlərindən ibarədir) sistemlər daxildir.

Bir daha qeyd etmək olar ki, ekosistemlər canlı orqanizmlərlə və onların yaşayış mühitləri ilə əmələ gəlmiş vahid təbii komplekslərdir. Ekosistemlərin hər üç növü (təbii, qarışıq, süni) ola bilər. Ən çox hallarda qarışıq ekosistemləri süni ekosistemlərə aid etmək olar. Süni ekosistemlər isə lazımi məqsədlərə çatmaq məqsədilə insanların təsirinə məruz qalan (meşə) və ya onun fəaliyyəti nəticəsində dəyişən (atmosfer havası – çirkləndirici maddələrin atılması səbəbindən) sistemlərdir.

Sistemin modul quruluşu. Burada “əlaqə” anlayışına baxaraq ən sadə formada onu bir elementin (və elementlər qrupunun) digər element (və elementlər qrupu) vasitəsilə təsvir etmək olar. Bu anlayışı sistemin xarici mühitlə qarşılıqlı təsirinə də köçürmək olar. Sonra sistemdə aşağıdakıları seçmək olar: *girişlər* – digər elementlər tərəfindən təsirə məruz qalma; *çıxışlar* – elementlərin digərilərinə göstərdikləri təsirlər. Bundan sonra giriş və çıxış dilləri istənilən elementlər toplusuna, o cümlədən sistemin özünə köçürülür. Beləliklə, *modul* dedikdə ancaq özünün girişləri və çıxışları ilə təsvir olunan və müəyyən tamlığa malik olan sistemin elementlər qrupu başa düşülür (şəkil 2.2). Sistem modul toplusu ilə təqdim oluna və özünə modul

kimi baxıla bilər. Sistemin modul quruluşu bir qayda olaraq onun dekompozisiyasını təyin edir.



Şəkil 2.2. Modulun sxemi

Qeyd etmək olar ki, modul anlayışı kibernetikada “qara qutu” konsepsiyasına yaxındır. Bu anlayış çərçivəsində *çıxışın* ancaq *girişdən* asılı olduğu məlumdur. Lakin, “qara qutu” anlayışından fərqli olaraq bütöv sistemlərin tədqiqi vaxtı modulun daxilində baş verənləri təhlil etmək imkanı vardır, bu imkandan isə məsələyə baxışının müəyyən mərhələsində istifadə etmək olar. *Modulun sinonimlərinə* blok, düyün, mexaniki (texniki altproqram), məntiqi blok (proqramlaşdırma) anlayışları aiddir.

2.3. Sistemli yanaşmanın məsələləri və sistemli təhlilin üsulları

Sistemli yanaşma və sistemlilik prinsipi.

Modelləşdirmənin əsas prinsipi – sistemli yanaşmadır. Sistemli yanaşma – sistem təşkil edən obyektlərin dərk edilməsi metodologiyası olan istiqamətdir. Bir daha qeyd etmək olar ki, sistem müəyyən tamlığı, vahidliyi yaradan qarşılıqlı əlaqəli elementlər çoxluğuudur. Onun tərkibini, strukturunu və xassələrini sistemli təhlil vasitəsilə öyrənirlər və o, sistemli yanaşmanın əsasını təşkil etməklə və mürəkkəb elmi problemlərin həlli üçün istifadə olunan metodoloji vasitələrin toplusundan ibarətdir. Bu vasitələr toplusuna sadə təsvir edici, məntiqi və çox mürəkkəb riyazi üsullardan ibarət kompleks üsullar daxildir.

Sistemli yanaşma üsul və vasitələr toplusundan ibarətdir və obyekt və proseslərin tam vahid kimi xassələrini, strukturunu və funksiyalarını tədqiq etməyə imkan verir və sistemin özünün onun struktur elementlərinə mürəkkəb elementlərarası qarşılıqlı əlaqələr, qarşılıqlı təsirlər sistemi kimi təqdim edir.

Sistemli yanaşmanın məğzi sistemin elementlərinə sistemin fəaliyyətinin qlobal məqsədlərinə çatmaq üçün qarşılıqlı əlaqələrindən və fəaliyyətindən ibarətdir. Sistemli yanaşmanın xüsusiyyəti sistemin ayrı-ayrı elementlərinin yox, bütün sistemin özünün fəaliyyətinin optimallaşdırılmasından ibarətdir.

Sistemli yanaşma metodologiyasının səmərəli həyata keçirilməsi, ancaq 1960-cı illərin ortalarından – güclü EHM-lərin yaradılmasından, mürəkkəb dinamik sistemlərin modelləşdirilməsi üsullarının işlənilməsindən sonra başlamışdır.

Sistemli yanaşmanın mərhələləri:

1. Ümumi proseslər məcmusundan tədqiqat obyektinin, sistemin konturlarının cizgilərinin və sərhədlərinin, onun elementlərinin, mühitlə əlaqəsinin seçilməsi; tədqiqatların məqsədlərinin müəyyənləşdirilməsi, sistemin strukturunun və funksiyalarının müəyyənləşdirilməsi; tam sistemin və elementlərinin başlıca xassələrinin seçilməsi, onların uyğunluğunun ortaya çıxarılması;

2. Sistemin səmərəli fəaliyyətinin əsas meyarlarının, həmçinin əsas məhdudiyyətlərinin və fəaliyyət şəraitinin təyini;

3. Sistemin strukturunun və elementlərinin variantlarının təyini və ona təsir edən əsas amillərin nəzərə alınması;

4. Sistemin modelinin tərtib edilməsi;

5. Məqsədə çatmaq üçün sistemin fəaliyyətinin optimallaşdırılması;

6. Sistemin idarə edilməsinin optimal sxeminin təyini;

7. Fəaliyyətin nəticələrinə əsasən etibarlı əks əlaqələrin ortaya çıxarılması, sistemin iş qabiliyyətinin etibarlılığının təyin edilməsi.

Sistemli yanaşmanın əsas üstünlükləri:

- müxtəlif obyektlərdə və proseslərdə müxtəlif detallarla kölgələnmiş və gizlədilmiş müxtəlif ümumi xüsusiyyətləri işıqlandırmağa imkan verir;

- qərarların qəbul edilməsi üsulları bir funksional oblastdan digərinə daşına bilir;

- qərarların qəbul edilməsi vaxtı ayrı-ayrı üsulların imkanları artıq qiymətləndirilməməlidir. Məsələn, ekspert qiymətləndirilməsinə mənfi təsirlər göstərən riyazi modelləşdirmədən istifadə etmək olur;

- müxtəlif elmi bölmələrdən bilgilərin sintezi həyata keçirilir;

- layihələrə sistemin (növlər, həcmələr, informasiyanın təyinatı və keçdiyi yol) informasiyon təsviri daxil edilir və informasiyanın və məlumatların toplanması və emalı prosesi işlənir;

- layihələşdirilən sistemə aid olan tədqiqat sahəsində tədqiqatların sonrakı inkişafının lazımı istiqamətlərinin seçilməsi üçün obyektiv əsas yaranır.

Sistemli yanaşmanın prinsipləri:

- *vahidlik* – sistemə tam vahid və onun ayrı-ayrı hissələrinin məcmusuna birgə baxmaq;

- *inkişaf* – mühitin dinamikası nəzərə alınmaqla sistemin dəyişə bilməsi, onun inkişafı, informasiyanın toplanması qabiliyyətinin nəzərə alınması;

- *qlobal məqsədlər* – qlobal məqsədlərin seçilməsinə məsuliyyət, altsistemin optimumu bütün sistemin optimumu deyil;

- *funksionallıq* – sistemin strukturuna və struktur üzərində funksiyanın prioritetliyi funksiyasına birgə baxılması;

- *demərkəzləşdirmə və mərkəzləşdirmənin birgəliyi*;

- *iyerarxiya*;

- *qeyri-müəyyənlik* – hadisənin ehtimalı başlanmasının nəzərə alınması;

- *təşkilatçılıq* – qərarların və nəticələrin yerinə yetirilməsi dərəcəsi.

Sistemli təhlil və onun məsələləri. Ekologiyada sistemli yanaşma tam bir istiqamətin formalaşmasına və onun müstəqil hissəsinə çevrilmiş sistemli ekologiyanın yaranmasına gətirib çıxarmışdır. Sistemli təhlil mürəkkəb məsələləri sadə məsələlər toplusuna, mürəkkəb sistemi qarşılıqlı əlaqələri də nəzərə alınmaqla elementlərə ayırmağa imkan verir. Beləliklə, sistemli təhlil həll olunan mürəkkəb problemi ardıcıl olaraq daha kiçik və qarşılıqlı əlaqəli problemlərə dekompozisiya edən proses kimi çıxış edir. Beləliklə, sistemli təhlil elmi bölmədir və böyük miqdarda müxtəlif təbiətli informasiyanın təhlili şəraitində qərarların qəbul edilməsi problemləri ilə məşğul olur.

Sistemli təhlilin texniki əsasını riyazi proqramlaşdırma üsullarından, oyunlar nəzəriyyəsi və s. geniş istifadə etməklə müasir EHM-lər və informasiya sistemləri təşkil edir.

Əsas sistem prinsipləri aşağıdakılardır: sistemin və mühitin tamlığı, strukturluğu, qarşılıqlı asılılığı, hər bir sistemin təsvirinin iyerarxikliyi, çoxluğu.

Tamlıq – sistemin ümumiləşdirilmiş xarakteristikasıdır və onun xassələri onun elementlərinin xassələrinin cəminə gətirilə və bu xassələrdən çıxarıla bilməz.

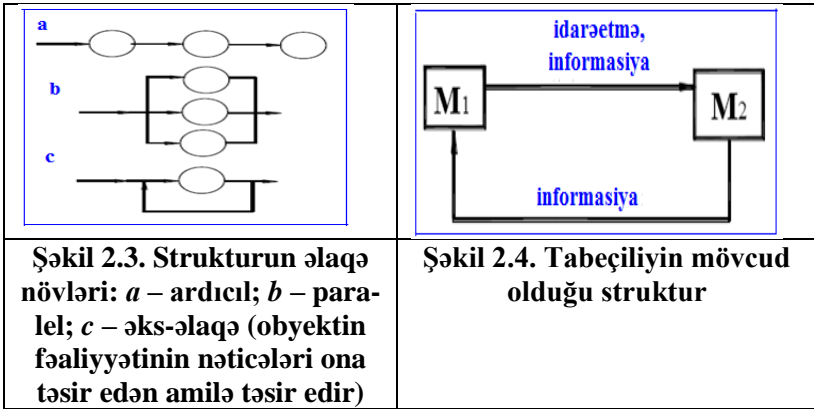
Strukturluq – sistemin struktur elementlərinin strukturunun qurulması və struktur elementlərinin qarşılıqlı əlaqəliliyi, sistemin özünü aparması onun strukturunu (biosenozun strukturunu, ekosistemlərin trofik strukturunu və s.) başa düşülür. Sistemin strukturunu dedikdə isə baxılan müddət ərzində dəyişməz qalan və ümumiyyətlə sistem haqqında təsəvvür yaradan və aralarında əlaqələri də göstərməklə sistemi elementlər qrupuna bölən struktur başa düşülür. Belə bölünmə maddi, funksional, alqoritmik və digər əsaslarla ola bilər. Strukturdakı elementlər qrupları adətən müxtəlif qrupların elementləri arasında sadə və ya nisbətən daha zəif əlaqələr prinsipinə əsasən seçilir.

Sistemin strukturunu qruplardan və onları birləşdirən xətlərdən (əlaqələrdən) ibarət olan qrafik sxem formasında əks etdirmək rahatdır. Ona isə struktur sxem və ya qraf deyilir.

Struktura nümunə kimi, giləmeyvə kollarını, təqvim (vaxta görə struktur), kitabların fəsilərə bölünməsinə, müəssisənin sex və şöbələrini göstərmək olar.

Struktur sxemdə istifadə olunan *dekompozisiya* anlayışı isə sistemdə hər-hansı bir əməliyyatın aparılması üçün onun hissələrə bölünməsi kimi başa düşülür.

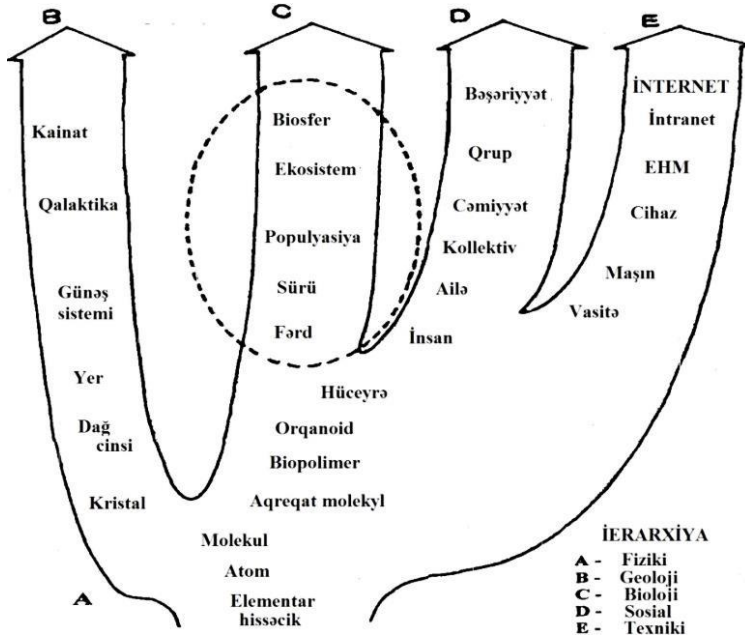
Strukturun xarakteristikalarından biri onun əlaqə növləridir və onlar şəkil 2.3 və şəkil 2.4-də göstərilmişdir.



Sistemin və mühitin qarşılıqlı əlaqəli olması – onların qarşılıqlı təsiri (biosenozun və bionövün) nəticəsində onun xassələrinin formalaşmasında və özünü biruzə verməsində göstərir.

İyerarxiçlik – sistemin hər bir komponentinə müstəqil sistem kimi baxılır, tədqiq olunan sistemin özü isə daha geniş sistemin tərkib hissəsidir (məsələn, qlobal sistemə-biosferə qədər bioloji təşkilatlanmanın səviyyələri). İyerarxiçlik dedikdə həm də “pilləkənli səviyyədə yerləşmə” başa düşülür. Hər bir səviyyədə və ya pilləkəndə ətraf fiziki mühitlə qarşılıqlı təsir (enerji və maddələrlə) nəticəsində yeni xarakterik funksiyalar ortaya çıxır. Tipik iyerarxiç struktur şəkil 2.5-də göstərilmişdir.

Prinsipcə istənilən iyerarxiya sistemin imkanlarını, xüsusilə də çevikliyini azaldır. İyerarxiyanın bu və ya digər dərəcəsi əksər ekosistemlərdə müşahidə olunur.



Şəkil 2.5. Təbiət sistemlərinin iyerarxiyası

Sistemli təhlildə aşağıdakı seçilə bilər:

- 1) metodologiya;
- 2) aparat realizasiyası;
- 3) elm və praktikanın müxtəlif sahələrində tətbiqi təcrübəsi.

Metodologiya – sistemli təhlilin bazis başlanğıcıdır və özünə istifadə olunan anlayışların təyini, sistem yaşamanın prinsiplərini, həm də sistemli tədqiqatların təşkilinin əsas problemlərinin hazırlanmasını və ümumi xarakteristikasını daxil edir.

Aparat realizasiyası dedikdə mürəkkəb sistemdə qərarların qəbul edilməsinin modelləşdirilməsinin standart qaydaları və bu modellərlə işləmənin ümumi qaydaları başa düşülür.

Müxtəlif sahələrdə tətbiqi təcrübəsi – çox geniş fəaliyyət sahəsidir – praktiki olaraq bütün sahələrdə elmi-texniki işlərdir.

Sistemli təhlilə istinad biologiyada, ekologiyada, psixologiyada, sosiologiyada və s.sahələrdə adi haldır.

Sistemli təhlilin məğzi aşağıdakılardan ibarətdir:

1. sistemli təhlil bir çox mümkün alternativ optimal həll variantının qəbulu ilə əlaqəlidir;
2. hər bir alternativ uzunmüddətli perspektiv nöqtəyi-nəzərdən qiymətləndirilir;
3. sistemli təhlilə problemin dərinədən aydınlaşdırılması və nizamlama (strukturizasiya) metodologiyası kimi baxılır;
4. sistemli təhlildə bütövün qarşılıqlı əlaqəsini və ziddiyətli tendensiyaları nəzərə alan elmi idrakın yeni prinsiplərinin işlənilməsinə söykənir;
5. ilk növbədə strateji problemlərin həlli üçün tətbiq olunur.

Sistemli təhlildə həm sistemlərin ümumi nəzəriyyəsinin riyazi aparatı, həm də riyazi məntiq, qərarların qəbul edilməsi nəzəriyyəsi, səmərəlilik nəzəriyyəsi, informasiya nəzəriyyəsi, süni intellekt üsulları, modelləşdirmə üsulları oblastlarındakı digər keyfiyyət və kəmiyyət üsullarından istifadə olunur.

Sistemli təhlilin əsas prinsipləri aşağıdakılardır:

1-ci prinsip – bu sistemin elementləri toplusuna vahid bir bütöv kimi baxılması və ya sistemə elementlərin sadə birləşməsi kimi baxılmasına qadağa tələbi qoyulur.

2-ci prinsip sistemin xassəsinin onun elementlərinin xassələrinin sadə cəmi kimi baxılmamasının etiraf edilməsindən ibarətdir.

3-cü prinsip sistemin maksimal səmərəlilik prinsipidir.

4-cü prinsip öyrənilən sistemə onu əhatə edən mühitdən ayrılıqda baxmağı qadağan edir. 4-cü prinsip baxılan sistemin ayrı-ayrı hissələrə, alt sistemlərə bölünməsi imkanlarını (bəzi hallarda isə zəruriliyini) özündə əks etdirir.

Ekologiyada sistemologiyanın əsas prinsipləri aşağıdakılardır:

Emercentlik prinsipi. Komponentlərin və ya alt çoxluqların daha iri funksional vahidlərə birləşməsi baş verdikcə bu yeni vahidlərdə əvvəlki səviyyədə olmayan yeni xassələr yaranır.

İyerarxik təşkilatlanma prinsipi (və ya Odumun integrativ səviyyələr prinsipi) həm təbii, həm də süni ekosistemləri bir-birinə tabe olmağa imkan verir.

L.Zadənin uyğunsuzluq prinsipi: sistemin mürəkkəbliyi və onu təhlil etməyə imkan verən dəqiqlik, əks asılılıqlarla əlaqəlidir.

C.Forresterin kontrintuitiv davranış prinsipi: ancaq öz təcrübənə və intuisiyaya əsaslanmaqla lazımi qədər böyük vaxt intervalında mürəkkəb sistemlərin davranışının qane edici proqnozunu praktiki olaraq vermək mümkün deyil.

V.V.Nalimovun modellərin çoxluğu prinsipi: mürəkkəb sistemin izahının, strukturunun proqnozlaşdırılması və (və ya) davranışı üçün mövcudluğuna görə eyni hüquqa malik bir sıra model işlənib hazırlana bilər.

B.S.Fleyşmanın həyata keçirilmə prinsipi: Sistemologiya ancaq o modellərə baxır ki, onlar üçün alqoritmlər mümkündür (həyata keçirilə bilənədir).

Qanunların təşəkkül tapması prinsipi: sistemologiyanın qanunları deduktiv xarakter daşıyır və heç bir real hadisə onların düzgünlüyünü nə inkar, nə də təsdiq edə bilər.

Rekurrent izah prinsipi: dünyanın iyerarxik təşkilinin baxılan səviyyəsinin xassələri bu sistemin elementlərinin postulat kimi qəbul edilən xassələrindən və onlar arasındakı əlaqələrdən asılı olaraq izah olunur.

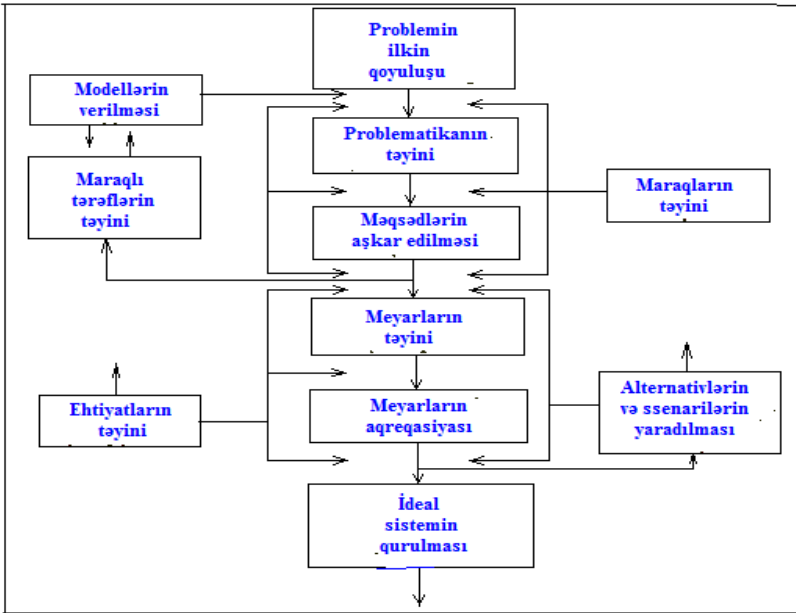
Modellərin minimaks hazırlanması prinsipi: nəzəriyyə sistemin artan mürəkkəbliklə (*max*) davam edən sadə modellərdən (*min*) ibarət olmalıdır.

Sistemli təhlilin mərhələləri və ardıcılığı. Sistemin xassələrinin tədqiqi və sonrakı optimal idarə edilməsi üçün sistemli

təhlilin praktiki tətbiqinin bir çox hallarında aşağıdakı əsas mərhələləri seçmək olar:

1. məsələnin məzmunlu (mənalı) qoyuluşu;
2. öyrənilən sistemin modelinin qurulması;
3. modelin köməyi ilə məsələnin həllinin axtarılması;
4. modelin köməyi ilə məsələnin həllinin yoxlanılması;
5. məsələnin həllinin xaric şərait üçün köklənməsi;
6. məsələnin həllinin həyata keçirilməsi.

Sistemli təhlil tam formalizə oluna bilməz, ancaq onun davranışının müəyyən bir alqoritmini seçmək olar. Sistemli təhlil aşağıdakı ardıcılıqla yerinə yetirilə bilər (şəkil 2.6).



Şəkil 2.6. Konkret problemin sistemli təhlili məsələlərinin həlli alqoritmi

1. *Problemin qoyuluşu* – tədqiqatların başlanğıc anıdır. Mürəkkəb sistemlərin tədqiqində bu mərhələdən əvvəl problemin strukturlaşdırılması işləri aparılmalıdır.

2. *Problemin problematikaya qədər genişləndirilməsi* – tədqiq olunan problemlə əhəmiyyətli əlaqəli olan, lakin onlar nəzərə alınmadan həlli mümkün olmayan problemlər sisteminin tapılması.

3. *Məqsədlərin ortaya çıxarılması*: məqsədlər tədqiqat istiqamətlərini göstərir və problemi mərhələli həll etmək üçün bu istiqamətlərə uyğun hərəkət etmək lazımdır.

4. *Meyarların formalaşdırılması*. Meyar dedikdə sistem tərəfindən onun qarşısında qoyulan məqsədlərə çatmaq üçün çatma dərəcəsinin kəmiyyət təsviri başa düşülür. Meyar həm də bir sıra alternativ həll variantlarından daha üstün variantın seçilməsi qaydasıdır. Çoxmeyarlılıq məqsədin təsvirinin adekvatlığının artırılması qaydasıdır. Meyarlar mümkün qədər məqsədin bütün vacib aspektlərini təsvir etməlidir, lakin, zəruri meyarların sayını minimuma endirmək lazımdır.

5. *Meyarların aqreqasiyası*. Aşkar edilmiş meyarlar ya qruplarda birləşdirilməli, ya ümumiləşdirici meyarla əvəz olunmalıdır.

6. Alternativlərin generasiyası və onlardan ən yaxşısından istifadə etməklə meyarın seçilməsi. Alternativlər çoxluğunun formalaşdırılması sistemli təhlilin yaradıcı mərhələsidir.

7. *İnformasiya resursları da daxil edilməklə resurs imkanlarının tədqiqi*.

8. *Problemin həlli üçün formalizasiyanın (modellərin və məhdudiyətlərin) seçilməsi*.

9. *Sistemin qurulması*.

10. *Aparılmış sistemli tədqiqatların nəticələrinin istifadəsi*.

2.4. Elm sahələrində və sistemlərdə tətbiq olunan üsul və qaydalar

Sistemli tədqiqatın xüsusiyyətləri. Sistemli tədqiqatlar – tədqiqat obyektinə sistem kimi baxılan elmi nəzəriyyələrin, konsepsiyaların və üsulların məcmusundan ibarətdir.

Sistemli tədqiqatın xüsusiyyəti öyrənilən obyektə yeni yanaşma prinsiplərinin irəli sürülməsi ilə təyin olunur. Ən ümumi formada bu yanaşma obyektin tam təsvirini yaratmağa çalışmaqla ifadə olunur və aşağıdakı müddəalarla xarakterizə edilir:

- obyektin sistem kimi öyrənilməsi vaxtı element onun yerinin tam sistemdə nəzərə alınması ilə təsvir olunur;

- sistemli tədqiqatda eyni bir material eyni zamanda müxtəlif xarakteristikalara, parametrlərə, funksiyalara, hətta müxtəlif qurulma prinsiplərinə malik material kimi çıxış edir. Bunun özü sistemin quruluşundakı iyerarxiyadır;

- sistemin tədqiqatı onun funksional fəaliyyət şəraitindən ayrılmazlıq təşkil edir;

- sistemli yanaşma üçün spesifik olan elementin xassələrindən tam sistemin xassələrinin yaranması və əksinə - tam sistemin xarakteristikalarından elementlərin xassələrinin yaranması problemi;

Sistemdəki bütün amilləri və qarşılıqlı əlaqələri əks etdirən ümumiləşdirilmiş (yekun) modellərinin işlənilməsi sistemli təhlilin mərkəzi prosedurasıdır.

Sistemli tədqiqatların obyekt – çoxsaylı qarşılıqlı əlaqəli çoxluqlardan ibarət olan, özünəməxsus bütün daxili və xarici əlaqələrə və xassələrə malik olan və vahid bir tamlıq təşkil edən sistemlərdir.

Sistemli tədqiqatların əsas metodoloji xüsusiyyətləri bunlardır.

1. Sistemli tədqiqatlar üçün öyrənilən həqiqətin xüsusi növü xarakterikdir – o, bir qayda olaraq çoxmüstəvilidir (bir çox hallarda bir-birindən uzaqda yerləşən elmi bölmələrə aid olan müxtəlif məsələlər həll edilir).

2. Birsistemli tədqiqatda müxtəlif elmlərin üsullarından və vasitələrindən istifadə imkanları və labüdlüyü hansı predmetə aid olması problemini irəli sürür, yəni, bu və ya digər vasitələr

qrupunun baxılan tədqiqat predmetinə nə qədər adekvat olduğunu ortaya çıxarmağı vurğulayır.

3. Sistemli tədqiqatların yüksək dərəcədə abstraktlığı hər bir belə tədqiqat üçün empirik materialların qurulmasının böyük imkanlarını yaradır. Belə ki, bir tərəfdən empirik oblastlarının genişliyi tez bir zamanda nəzəri nəticələrin alınmasına imkan verir, digər tərəfdən isə - abstrakt nəzəri sistemlərdən predmetlə verilmiş nəticələrin alınmasına keçidə maneə yaradır.

Sistemli tədqiqatlarda üç aspekt seçilir:

- sistemli yanaşmanın nəzəri əsaslarının işlənilməsi;
- sistemli yanaşmaya adekvat olan tədqiqat aparatının (formal sfera) qurulması;
- sistemli ideyaların və üsulların əlavə edilməsi (tətbiqi sfera).

Sistemli təhlilin aparılması metodikası. Sistemli təhlil üsulları o hallarda işlənilir və tətbiq olunur ki, başlanğıc mərhələdə qərar qəbul edən şəxslərdə problemlə vəziyyət barədə kifayət qədər məlumat yoxdur və bu səbəbdən də onun formalizə etmə təsəvvürü yoxdur və riyazi modeli formalaşdırma bilmir. Belə şəraitdə obyektin sistem formasında təqdim olunması və modelləşdirmənin müxtəlif üsullarından istifadə etməklə qərarların qəbul edilməsi prosesinin təşkil edilməsi kömək edə bilər. Belə bir prosesi təşkil etmək üçün mərhələlərin ardıcılığını təyin etmək, bu mərhələlərin yerinə yetirilməsi üçün üsullar tövsiyə etmək, lazım olan hallar vaxtı əvvəlki mərhələlərə qayıtmağı nəzərdə tutmaq lazımdır. Tövsiyə olunan üsullar və ya qaydalar vasitəsilə müəyyən formada seçilmiş və nizamlanmış mərhələlərin bu ardıcılıqla yerinə yetirilməsi sistemli təhlilin metodologiyasından ibarətdir.

Beləliklə, sistemli təhlil metodikası mürəkkəb problemlə vəziyyətlərdə qərarların qəbul edilməsi proseslərinin təşkili üçün işlənilir. Belə metodikalar təhlillərin tamlığının əsaslandırılması, qərarların qəbul edilməsi modelinin formalaşdırılma-

sı, baxılan prosesin və ya obyektin adekvat əks edilməsi zəruriliyinə istiqamətlənməlidir.

Sistemli təhlili digər sistemli tədqiqat istiqamətlərindən fərqləndirən prinsipial xüsusiyyətlərdən biri məqsədlərin və idarəetmə sistemlərinin funksiyalarının formalaşdırmasını və müqayisəli təhlilini asanlaşdıran vasitələrin işlənilməsi və istifadəsidir. Beləliklə, sistemli təhlil metodikalarının başlıca xüsusiyyəti bunlarda formal üsulların və ekspert biliklərin birləşməsindən ibarətdir. Ekspert bilikləri formal modellərdə problemlərin həllində öz əksini tapa bilməyən yeni həll yollarını tapmağa və beləliklə, fasiləsiz olaraq modeli və qərarların qəbul edilməsi prosesini inkişaf eydirməyə kömək edir.

Sistemli təhlil üsulları. Sistemli təhlil üsullarının arsenalına lazımı miqdarda üsullar daxildir. Onlardan hər birinin üstünlükləri və çatışmayan cəhətləri, həmçinin obyektin növünə və onun tədqiqat mərhələlərinə nisbətdə tətbiq oblastları mövcuddur. Sistemli təhlilin prinsipial xüsusiyyətinə iki növ üsulun – **formalizasiya olunmuş və qeyri-formalizasiyalı (keyfiyyətli, məzmunlu)** üsulların istifadəsi aiddir.

Formalizasiya olunmuş üsullara aiddir: *-qrafiki:* matritsa üsulları, şəbəkə üsulları; *-statistik:* riyazi statistika, ehtimal nəzəriyyəsi, kütləvi xidmət nəzəriyyəsi; *-analitik:* klassik riyaziyyat üsulları, riyazi proqramlaşdırma.

Matritsa üsulları. İnformasiyanın təqdiminin və təhlilinin matritsa formaları sistemli təhlilin spesifik alətlərinə aid deyil, lakin, köməkçi vasitə kimi onun müxtəlif mərhələlərində geniş istifadə olunur. Matritsanın xassələrinin istifadəsi nümunəsinə Mendeleev cədvəlini aid etmək olar. Matritsalar sistemin təhlili və onların strukturunu təqdim etmək üçün istifadə edilir.

Şəbəkə üsulları. Onlar vaxta görə dinamik, inkişaf edən proseslərin əks etdirilməsi, optimizasiya elementlərini daxil etməklə onların təhlili və planlaşdırılması üçün ən əyani və rahat vasitədir. Başlıca olaraq inkişaf proqramının qurulması mərhələsində istifadə olunurlar. Vaxta görə məntiqli qarşılıqlı əlaqələr

alamətinə görə yenidən qruplaşdırılmış məqsədlər ağacının aşağı səviyyələrini şəbəkə formasında yenidən qurmaq olar. Bu şəbəkələrin təhlili məqsədlər ağacının sonrakı tənzimlənməsi üçün xidmət edə bilər.

Statistik üsullar. Bu üsullar barədə 1-ci fəsildə məlumat verilmişdir.

Riyazi proqramlaşdırma (“planlaşdırma”) riyaziyyatın bir bölməsidir və arqumentlərinə məhdudiyyətlər qoyulan funksiyaların ekstremal qiymətlərinin tapılması üsullarının işlənməsi ilə məşğuldur. Bu üsullar “paylayıcı məsələlər” adlanan məsələlərin həlli üçün iqtisadi, təşkilati, hərbi və s. sistemlərdə istifadə olunur.

Məqsədlər funksiyasının və məhdudiyyətlərin növündən asılı olaraq riyazi proqramlaşdırma üsullarının aşağıdakı növləri seçilir:

- *xətti proqramlaşdırma* məqsəd funksiyası və məhdudiyyətlər sistemi xətti olan hallarda istifadə olunur; əgər, xətti proqramlaşdırma məsələlərinin həlli tam rəqəmli olmalıdırsa, onda bu tamrəqəmli xətti proqramlaşdırma məsələsidir.

- *qeyri-xətti proqramlaşdırma* məqsəd funksiyasının və məhdudiyyətlər sisteminin qeyri-xətti olan hallarında istifadə olunur;

- əgər, riyazi proqramlaşdırma məsələsində zamana görə dəyişən kəmiyyət varsa və məqsəd funksiyası aşkar formada ifadə olunmayıbsa (əməliyyatın zamana görə keçməsinə təsvir edən tənlik vasitəsilə yazılıbsa), onda belə məsələ *dinamiki proqramlaşdırma* məsələsidir.

- əgər, məqsəd funksiyası və məhdudiyyətlər sistemi $C * X^{a_1} * X^{a_2} * \dots * X^{a_n}$ formasındakı düsturlar kimi verilibsə, onda bu, *həndəsi proqramlaşdırma* məsələsidir;

- *parametrik proqramlaşdırma* məsələlərində məqsəd funksiyası və məhdudiyyətlər sistemi parametrlərdən asılıdırlar;

- əgər, məqsəd funksiyasında və məhdudiyyətlər sistemində dəyişən kəmiyyətlərin mümkün dəyişmə oblastı təyin

olunursa və burada təsadüfi kəmiyyətlər varsa, onda belə məsələ *stoxastik proqramlaşdırma* məsələsinə aid edilir;

- əgər, məsələnin həllinin çoxlu sayda həlli variantları səbəbindən dəqiq optimumu alqoritmik yolla təyin etmək mümkün deyilsə, onda *evristik proqramlaşdırma* üsullarından istifadə olunur.

Qeyri-formal üsullara aiddir: «beyin hücumu» üsulları, ekspert qiymətləndirilməsi üsulu, «Delfi üsulu», diaqnostik üsullar, morfoloji üsullar, məqsədlər ağacı üsulu.

«Beyin hücumu» üsulları. Bu üsulların əsas məqsədi yeni ideyaların axtarılması, onların geniş müzakirəsi və konstruktiv tənqid etməsidir. Tədqiq olunan problem üzrə müzakirələrin aparılması vaxtı aşağıdakı qaydalar tətbiq olunur:

- tək mərkəzi məsələni seçməklə, problemi əsas terminlərdə formalaşdırmaq;
- heç bir ideyanı yalançı hesab etməmək və tədqiqatları dayandırmamaq;
- baxılan vaxta şübhəli görünən bilən ideyalar da daxil olmaqla istənilən növlü ideyanı dəstəkləmək;
- müzakirə iştirakçılarını sıxıntılardan azad etmək üçün onlara dəstək vermək və həvəsləndirmək.

Ekspert qiymətləndirmə üsulları. Onların ən sadə formalarından biri komissiya üsuludur və onun ardıcılığı aşağıdakı kimidir: **1-ci mərhələ** - problem təyin olunur; **2-ci mərhələ** - 10-15 nəfərdən ibarət ekspert qrupu yaradılır və buraya müvafiq problematika üzrə ən səriştəli mütəxəssislər daxil edilir; **3-cü mərhələ** - dəyirmi masa arxasında problemin birgə müzakirəsi; **4-cü mərhələ** - nəticələrin çıxarılması. Komissiya üsulunun müsbət tərəfləri: - ən az vaxt və vəsait sərfi; - birgə müzakirələr aparmaqla, ekspertlər səhvləri və bir- birilərinin çatışmazlıqlarını kompensasiya edirlər; - komissiyanın hər birinin ayrı-ayrılıqda əldə etdiyi informasiyaya nisbətən mütəxəssislər qrupu daha çox informasiyaya malikdir; - ekspertlər bir qrupda olarkən daha böyük həvəslə çıxarıqları nəticələrin məsuluyyə-

tini öz üzərilərinə götürürlər. **Komissiya üsulunun mənfi tərəfləri:** - qrupun müəyyən mütəxəssisləri digər həmkarlarına təzyiq göstərə bilərlər, bu isə onların müəyyən hallarda çxardıqları düzgün qərarlardan imtina edilməsinin səbəbi ola bilər; - kiçik qruplar üzərində aparılan təcrübələr göstərmişdir ki, bir çox hallarda hər hansı bir əsaslandırılmış arqumentin xeyrinə əsaslandırma yox, müsbət və mənfi tərəflər arasındakı nisbətlər istifadə olunur; - ayrı-ayrı hallarda qrupun qarşılıqlı razılaşıma əsasında qərar qəbul edilməsi daha böyük əhəmiyyət kəsb edə bilər, nəinki, çox yaxşı fikirləşilmiş proqnozun işlənilməsi. Bu üsul təbiətdən istifadənin proqnozlaşdırılması məsələlərində istifadə olunur.

“Delfi” üsulu barədə 1-ci fəsildə məlumat verilmişdir.

Diaqnostik üsullar sistemin işinin forma və üsullarının təkmilləşdirilməsi məqsədilə sistemin və onun altsistemlərinin müayinə edilməsi qaydalarından ibarətdir. Bu üsulları müayinə olunan obyektin diaqnostika mərhələsində tətbiq edirlər, və həm də lazımi informasiyanın alınması üçün digər mərhələlərdə də istifadə oluna bilər. Diaqnostik üsulların istifadəsinin məqsədi sistemin normal rejiminin fəaliyyətinin mümkün meylətmələrinin və pozulmaların qarşısının alınmasının proqnozlaşdırılması üçün sistemin vəziyyətini xarakterizə edən əlamətlərin müəyyənləşdirilməsi və öyrənilməsidir.

Morfoloji üsullar. Bu üsulların əsas ideyası seçilmiş elementlərin və ya əlamətlərin kombinasiyalarının seçilməsi yolu ilə problemin həllinin və ya sistemin realizasiyasının bütün mümkün variantlarını sistemətik olaraq aşkar etməkdən ibarətdir. Bu yanaşma İsveçrə astronomu F.Tsvikki tərəfindən hazırlanmış və tətbiq edilmişdir. Morfoloji üsulların ən çox istifadə olunan müxtəlif formalarına aşağıdakılar aiddir: *-sahənin sistemətik örtülməsi üsulu; -inkar etmə və konstruksiyanı qurma üsulu; -morfoloji qutu üsulu.*

Məqsədlər ağacı üsulu. “Məqsədlər ağacı” termini ümumi məqsədin alt məqsədə bölünməsi, onun isə daha detallaşdırılmış

tərkib hissələrə bölünməsi yolu ilə alınmış iyerarxik strukturun istifadəni nəzərdə tutur. Məqsədlər ağacı əlaqəli qrafdan ibarətdir, onun zirvələri məqsədlər, qabırğa və ya qövslər isə məqsədlər arasında əlaqə kimi interpretasiya olunur. Məqsədlər ağacına olan əsas tələb burada dövriyyənin (siklin) olmamasıdır. Bu üsul problemin strukturuzasiyası və təhlili, sistemin strukturuzasiyası və optimallıq meyarlarının dekompozisiyası üçün istifadə olunur.

Müxtəlif elm sahələrində və sistemlərdə tətbiq olunan üsul və qaydalar. Sistemli təhlil müxtəlif elm sahələrində və sistemlərdə istifadə oluna bilən aşağıdakı sistemli üsulları və prosedurları təklif edir: 1) abstraktlaşdırma və konkretləşdirmə; 2) təhlil və sintez, induksiya və deduksiya; 3) formalaşdırma və konkretləşdirmə; 4) kompozisiya və dekompozisiya; 5) linearizasiya və qeyri-xətti tərkib hissələrin seçilməsi; 6) strukturlaşdırma və restrukturlaşdırma; 7) maketləşdirmə; 8) alqoritmləşdirmə; 9) modelləşdirmə və eksperiment; 10) proqramlaşdırılmış idrəetmə və tənzimləmə; 11) tanınma və identifikasiya; 12) klasterləşdirmə və təsnifatlaşdırma; 13) ekspert qiymətləndirməsi və testləşdirməsi; 14) verifikasiya 15) digər üsul və prosedurlar.

2.5. Ekologiyada sistemli yanaşma və modelləşdirmə

Bioloji sistemlərin xüsusiyyətləri. Biologiyada və ekologiyada nəzəri və praktiki məsələləri uğurla həll etmək üçün bu elmlərin bir çox sahələrinə sistem nöqtəyi-nəzərdən yanaşmaq və müvafiq tədqiqat üsulları tətbiq etmək lazımdır.

Biologiya – təbiətin öyrənilməsində sistemli yanaşmanın istifadəsinə prioritetlik verən ilk elmlərdən biri olmuşdur. Ondan elmi formada istifadə edən isə Ç.Darvindir. Sistemli yanaşma ideyaları ekologiyada xüsusilə geniş tətbiq olunur. Onun daha yüksək səviyyəsinə biosfer və noosfer haqqında V.İ.Vernadskinin elmi yanaşması qoyulmuşdur. Burada elmi dərkətməyə yeni növ obyekt – qlobal sistemlər təklif edilmişdir.

Belə qlobal ekosistem biosferdir və o, daha aşağı səviyyədə yerləşən Yer kürəsinin bütün ekosistemlərini iyerarxiklik prinsipi əsasında birləşdirmişdir.

Ekosistemlər lazımi səviyyədə mürəkkəb özünü təşkilatlandırın və məqsədyönlü mürəkkəb iyerarxik strukturlu sistemdir, hər bir sistemin çoxsaylı təsvirini işıqlandırır. Bu da çoxsaylı modellərin hazırlanmasını, yəni, tədqiqatlar vaxtı modelləşdirmə üsullarından geniş istifadəni tələb edir.

Bioloji sistemlər aşağıdakı iki əsas xassə ilə xarakterizə edilir:

1. Maddələr mübadiləsi. İstənilən bioloji sistem açıq sistemdir. Bu o deməkdir ki, belə sistem xarici mühitlə kimyəvi maddələrlə, enerji və informasiya mübadilələri olmadan mövcud ola bilməz.

2. Dəyişmələr baş verməklə öz-özünə təkrar istehsal. İstənilən bioloji sistem özünə bənzərini təkrar istehsal etməyə qadirdir.

Bu xassələrdən əlavə bioloji sistemin müxtəlif formalı əlamətləri də seçilir:

1. Kimyəvi tərkibin xüsusiyyətləri. Bioloji sistemlərin tərkibinə daxil olan maddələr (bioloji molekullar) cansız aləmdə olurlar. Bunlara nuklein turşuları, zülalları, karbonatları və bəzi üzvi maddələri aid etmək olar.

2. Bioloji sistemlər elə yüksək nizamlılıq dərəcəsinə malikdir ki, belə iyerarixayaya malik ciddi sistemlərə heç vaxt cansız aləmdə rast gəlinmir.

3. Bioloji sistemlər genetikanın quruluşu, inkişafı və funksionallıq proqramlarının həyata keçirilməsi məhsulundan ibarətdir. Bu proqram bioloji sistemin müəyyən daxili və xarici amillərində inkişaf prosesində realizasiya olunur. Məsələn, fenotip orqanizmin inkişafının müəyyən şəraitində genotip əsasında formalaşır.

4. Bioloji sistemlər açıq axıdıcı sistemlərdir. Onlar daima yüksək təşkil olunmuş enerjini (kimyəvi və ya işıq enerjisi

formasında) udur və zəif təşkil olunmuş (isitlik formasında) enerjini buraxır. Enerjinin təşkili səviyyəsindəki fərqlər bioloji strukturların təşkili səviyyəsini artırmaq üçün istifadə olunur.

5. Bioloji sistemlər öz-özünü tənzimləyən sistemlərdir və onlar xarici mühitin dəyişən şəraitində öz strukturlarını təmin etməyə qadirdir. Bioloji sistemlərin özünü tənzimləməsi əsasında onları tərkib hissələri olan elementlər arasında çoxlu əks əlaqələr yerləşir.

6. Böyümə və inkişaf. Böyümə özünü kəmiyyət dəyişikliklərinin toplanması (hüceyrələrin həcmnin, kütləsinin və sayının artması) kimi biruzə verir. İnkişaf isə kəmiyyət dəyişmələrinin keyfiyyət dəyişmələrinə (yeni orqanların və funksiyaların əmələ gəlməsi) ilə biruzə verir.

7. Tamlıq və diskretlik. İstənilən bioloji sistem tam bir vahid kimi hər-hansı bir təsirə reaksiya verən tam sistemdir. Eyni zamanda, bir səviyyənin bioloji sistemləri diskretdir, yəni bir-birindən az və çox dərəcədə aralıdır (“diskretlik”, “fasiləlik”, “ayrı-ayrılıqda” deməkdir).

Yuxarıda göstərilənlərdən əlavə aşağıdakıları da göstərmək olar: -qıcıqlanmaq, -ritmiklik, -inersionluq, -inkişafın geri dönməzliyi, -adaptiv təkamülə qadir olmaq.

Bioloji sistemlərin dinamikası və idarə formaları. Dinamiki sistemlər təsirin kod hissəsi hesabına paylanma funksiyalarının ciddi dəyişmələrinə qadirdir. Buna görə də bioloji sistemlərdə başlıca olaraq dinamiki sistemlərə baxılır. Qeyd etmək lazımdır ki, həyat ancaq dinamiki strukturlarla təqdim olunur və dinamiklik bütün canlı orqanizmlərin köklü xassəsidir. Canlı və cansızlar arasında körpü rolunu dinamiki təşkilatlanmalar təşkil edir və bunlarda kodlar parametrik prosesləri idarə edir.

Bioloji sistemlərdə paylanmış enerji mənbələri rolunu müəyyən biokimyəvi maddələr yerinə yetirir. Müəyyən olunmuşdur ki, bioloji sistemlərə xas olan bir sıra fundamental dinamiki xassələr onların aktiv paylanmış sistemlərinə aiddir.

Bioloji sistemlərin dinamik xassələrinin öyrənilməsi onun strukturu, funksiyası və fəaliyyət mexanizmi arasında qarşılıqlı əlaqələrin daha yaxşı başa düşülməsini şərtləndirir. Belə tədqiqatların birinci məqsədi öyrənilən sistemin kinetik qanunauyğunluqlarını təyin etməkdən və beləliklə, prosesin kinetik mexanizmini və onu xarakterizə edən parametrləri müəyyənləşdirməkdən ibarətdir.

Tənzimlənən sistemin dayanıqlığı onun bir sıra parametrlərinin (onları baxılan sistemin təyinedici rolu kimi qəbul etmək olar) müəyyən hədlərdə dəyişmələri ilə xarakterizə olunduğu üçün, faktiki olaraq istənilən anda sistemdə elə proseslər gedir ki, onlar sonradan tənzimləyici ilə məhdudlaşdırılır və əks proseslə əvəz olunur. Məğzinə görə sistem ona xas olan altsistemlərlə və tənzimləyicilərlə tarazlıq vəziyyəti ətrafında tərəddüd edir. Buna görə də bütün sistemin dayanıqlı vəziyyəti göstərilən hədudlar çərçivəsində çoxsaylı parametrlər çoxluğuna cavab verir. Bunlarla əlaqədar olaraq bioloji sistemlərin dinamik strukturlarına çox böyük diqqət yetirmək lazımdır. Əgər struktur yaranar və dağılırsa, onda o, mürəkkəb sistemin tənzimləyici elementinin vacib funksiyalarını yerinə yetirir. Bu ondan irəli gəlir ki, heç bir struktur, heç bir maddə o saat mütləq dayanıqlı vəziyyətdə yarana bilməz.

Bunlarla bərabər qeyd etmək lazımdır ki, kinetiki cəhətdən çox vacib bioloji proseslərin qeyri-xəttiliyi bioloji sistemlərdə sönməyən dövrü rejimlərin (avtotərəddüdlər) mövcudluğu mümkünlüyünü şərtləndirir. Onun xassələrinin tədqiqi üçün dinamik sistemlərin təhlilinin keyfiyyət üsulları tətbiq oluna bilər.

Ekologiyada sistemli yanaşma və modelləşdirmə. Məlumdur ki, elm və texnikanın inkişafındakı təsirli müvəffəqiyyətləri müəyyən bir müddətdə insanların təbiətdən tam azadlıq barədə illyüziya yaratmışdır. Lakin son dövrdə belə təsəvvürlərin əvəzinə insan cəmiyyətinin ətraf mühiti qoruması barədə ictimai dərk etmə gəlməyə başladı. İnsanın təbiətlə qarşılıqlı

münasibətlərinə yeni baxışlar sisteminin xarakterik cizgiləri bizim fəaliyyətin dönməyən fəsadları mümkünlüyü və bundan irəli gələn belə fəaliyyətin proqnozlaşdırılmasına kəskin tələbatların olmasıdır. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, mürəkkəb sistemlərin hərəkət tərzinin öncədən xəbər verilməsinin bir neçə yanaşması mövcuddur. Bunlara tədqiqatçının intuisiyasından və bölgə təcrübəsindən istifadəni, bənzər və ya oxşar sistemlərdə alınan nəticələrin eksperimentlərin nəticələri ilə müqayisəsini, və nəhayət, riyazi modelləşdirməni aid etmək olar. Ekoloji tədqiqatlarda bütün mümkün olan yanaşmalar istifadə olunmalıdır və istifadə olunurlar.

Ekologiyada sistemli yanaşmanın səmərəli həyata keçirilməsi ancaq 1960-cı illərin ortalarında mümkün olmuşdur və bunun əsasını ekoloqların sərəncamına güclü EHM-lərin verilməsi və mürəkkəb dinamik sistemlərin modelləşdirilməsi üsullarının işlənilməsi hazırlanması təşkil etmişdir. İlk əvvəl isə belə işlər aerokosmik və texniki tədqiqatlarda həyata keçirilmiş və onların məcmusu sistemli təhlil adını almışdır. Keçmiş SSRİ-də və inkişaf etmiş xarici ölkələrdə ekosistemlərin (əsasən biosferin) dinamikasının riyazi modelləşdirilməsi üzrə ilk nəşrlər məhz bu dövrə təsadüf edir. Bu dövrdən başlayaraq ekologiyada sistemli təhlilin tətbiqi getdikcə genişlənməyə başlamış, bunlar isə modellərin və modelləşdirmə üsullarının təkmilləşdirilməsi və modelləşdirmənin ekoloji tədqiqatların strategiyasına və taktikasına əks təsiri ilə müşayiət olunmuşdur.

Ekologiyanın predmeti kimi təbiətin təşkilinin sistem prinsipinin qəbul edilməsi sistemli yanaşmanın tətbiq edilməsi zəruriliyini şərtləndirmişdir. Bu ekoloji tədqiqatların xüsusi istiqamətidir, məğzi isə sistemin bütün komponentlərinin, onların bir-biri ilə qarşılıqlı təsirlərinin və məkana və zamana görə inkişafının öyrənilməsindən ibarətdir.

Ümumiyyətlə, ekoloji tədqiqatlarda sistemli yanaşma ciddi metodoloji konsepsiya deyil. O, konkret ekoloji tədqiqatları iki əsas istiqamətə yönəltməklə, evristik funksiyalar ro-

lunu oynayır. *Birincisi*, onun məzmunlu prinsipləri ekosistemlərin tam tədqiqinin yeni məsələlərinin qoyuluşu və həlli üçün köhnə, ənənəvi üsulların çatışmazlığını qəti müəyyən etməyə imkan verir. *İkincisi*, konstruktiv sistemli yanaşmanın anlayışları və prinsipləri ekosistemlərdə enerjinin transformasiyası, maddələrin və informasiyanın ötürülməsi proseslərinin məğzi-nin açılmasına yönəlmiş yeni öyrənmə proqramlarının yaradılmasına kömək edir.

Beləliklə, ekologiyada sistemli yanaşma bütün bir istiqamətin formalaşmasını şərtləndirmişdir və sistemli ekologiya adlanmaqla, onun müstəqil bölməsi olmuşdur. Sistemli ekologiyanın məsələsi prinsiplərin, sadələşdirilmələrin və mücərrədliklərin təsvir edilməsindən ibarətdir, real təbii dünyanın riyazi modellərinin işlənilməsindən əvvəl isə onun müxtəlifliyinin ekologiyanın məsələsinə gətirilməsinin öyrənilməsi zəruridir. Bu halda modelləşdirməni sistemli ekologiyanın spesifik üsulu hesab etmək lazımdır və onun köməyi ilə zamana və məkana görə ekosistemlərin inkişafının və fəaliyyətinin qanunları tədqiq olunur.

“Sistemli ekologiya”nın məsələlərinə ekosistemin inkişafını və onu təşkil edən elementlərin proqnozlaşdırılması imkanlarını qiymətləndirmək və onların idarə edilməsi məsələlərini həll etmək məqsədilə ekoloji sistemin strukturunu və funksional fəaliyyətini və burada müxtəlif populyasiyaların (növlərin) rolunu tədqiq etməkdir. Bunlar lazımi səviyyədə mürəkkəb məsələlərdir və onların həlli üçün riyazi üsullar, riyazi modellər və kompüter texnologiyaları cəlb edilməlidir.

“Sistemli ekologiya”da əsas tədqiqat üsulu sistemli təhlildir. Bu isə sintetik (sintez olunmuş) elmi istiqamətdir və dəqiq qoyulmayan məqsədlər (meyarlar) vaxtı müxtəlif formalı mürəkkəb sistemlərin tədqiqi üsullarını işləyib hazırlayır. Sistemli yanaşmada əməliyyatların tədqiqi nəzəriyyəsinin riyazi aparatı, çoxölçülü statistika üsulları, ekspertiza, sorğu, evristik və kompüter modelləşdirilməsi üsulları kimi qeyri-formal təhlil üsulları

istifadə olunur. Sistemin tədqiqinin əhəmiyyətli hissəsi burada baş verən dəyişmələrin təsviri qaydasının seçilməsi və bu təsvirin formalizasiya edilməsidir. Formalizasiyanın mürəkkəbliyi sistemi xarakterizə edən müxtəlif növlü amillərin məcmusu ilə təyin edilir. Məsələn, ekoloji, iqtisadi və digər amillərin məcmusu. Bununla əlaqədar demək olar ki, öz əhəmiyyətinə görə indiki zamanda insanların antropogen təsirləri ilə əlaqəli olan “ekoloji-iqtisadi” sistemə baxılmalıdır.

Bir elmi istiqamət kimi, sistemli təhlilin üsullarının işlənilməsi bir neçə istiqamətdə aparılmalıdır. Bunlardan ən vacibləri real proseslərin gedişini imitasiya edən edən riyazi modellərin hazırlanması və istifadəsi, onların bir sistemdə birləşdirilməsi və onların EHM-lərdə təqdimidir və bunlar adekvatlığı itirmədən istifadəsinin sadəliyini təmin etməlidir. Digər istiqamət təşkilati strukturların, ilk növbədə isə iyerarxik təşkilə malik sistemlərin öyrənilməsi ilə əlaqəlidir.

Sistemli ekoloji təhlil ekoloji qarşılıqlı əlaqələrin və qarşılıqlı təsirlərin xarakterini, forma və miqyasını tədqiq, ekosfera obyektlərinin dayanıqlığını və adaptasiyasını təhlil etməyə imkan verir. Sistemli ekoloji təhlilin aləti kimi ən çox hallarda riyazi və fiziki modelləşdirmədən, optimizasiya üsullarından, çoxluqlar nəzəriyyəsindən və s. istifadə olunur.

Ekosistemlərin modellərinin qurulmasında ümumsistemli təhlil üsullarından istifadə olunur. İlk növbədə bu, sistemdən ayrı-ayrı struktur elementlərinin ayrılmasıdır. Sistemin belə ayrılması – metodoloji qaydadır və tədqiqat oblastının birmənalı təyininə və fəaliyyətinin ardıcılığına istiqamətlənmişdir. Digər vacib moment – hər bir elementin (çoxalma və böyümə prosesləri, yırtıcı növlərin qarşılıqlı təsirləri, rəqabət və s.) iştirak etdiyi proseslərin xarakterinin müəyyənləşdirilməsidir. Tez-tez ekoloji modelləşdirmədə balans modellərindən istifadə olunur. İzomorfizm prinsipindən də geniş istifadə olunur. Bu prinsip oxşar riyazi tənliklər vasitəsilə təbiətlərinə görə müxtəlif, lakin strukturuna və sistemləri təşkil edən elementlər arasındakı qar-

şılıqlı təsirlərin növünə görə eyni olan sistemləri təsvir etməyə imkan verir.

Ümumiyyətlə isə, sistemli modelləşmə üsulunun universallığı müxtəlif təbiətli və müxtəlif keyfiyyətli prosesləri sistemli ekoloji modellərin vahid strukturu və iyerarxiyası çərçivəsində təsvir etmək üçün vahid metodikanın tətbiqi imkanlarından ibarətdir.

III FƏSİL. KOMPÜTERLƏŞDİRİLMİŞ RİYAZI MODELLƏRİN İŞLƏNİLMƏSİ MƏRHƏLƏLƏRİ

3.1. Modellərin işlənilməsi mərhələlərinin əsasları

Son dövrlərdə hesablama texnikasının dəyərinin ucuzlaşması və onun məhsuldarlığının artması ilə əlaqədar olaraq kompüter modelləşdirilməsi geniş populyarlıq qazanmışdır. Bu səbəbdən əsas diqqət kompüterləşdirilmiş riyazi modellərin işlənilib hazırlanması mərhələlərinə yönəlmişdir.

Bir daha qeyd etmək olar ki, kompüter modelləşdirilməsi – bu mürəkkəb sistemin təhlili və ya sintezi məsələlərinin həllinin onun kompüter modelindən istifadəsinə əsaslanan üsuldur. Kompüter modeli dedikdə aşağıdakılar başa düşülür:

– obyektin və ya sistemin qarşılıqlı əlaqəli kompüter cədvəlləri, blok-sxemləri, qrafikləri, diaqramları, şəkilləri və s. köməyi ilə təsvir olunan və obyektin strukturunu və onun elementləri arasında qarşılıqlı əlaqələri əks etdirən şərti xəyalıdır – *struktur-funksional modeldir*.

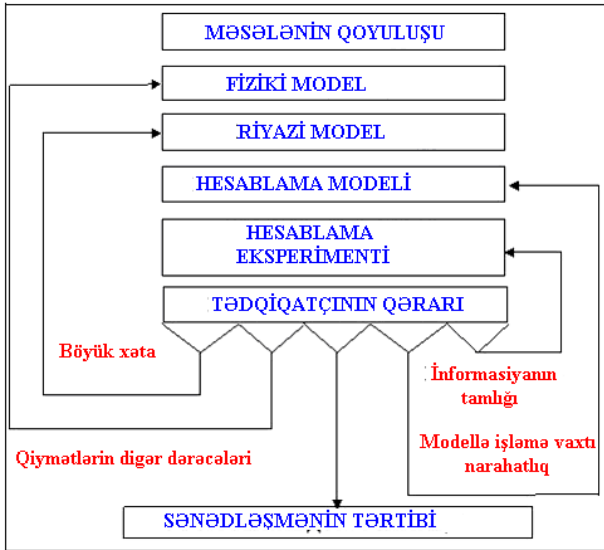
– obyekt və ya sistemə müxtəlif amillərin təsiri vaxtı onların fəaliyyət prosesini yenidən yaratmağa (imitasiya etməyə), ardıcıl hesablamaların və onların nəticələrinin qrafiki forma vasitəsi ilə təsvirinə imkan verən proqramlar toplusudur – *imitasiya modelidir*.

Kompüter modelləşdirilməsinin metodoloji əsasını sistemli təhlil təşkil edir. Artıq indiki zamanda bu istiqamətdə üstünlük təşkil edən tendensiya modelləşdirmə oblastında bütün növ modellərin bir-birinə qarşılıqlı nüfuz etməsi, müxtəlif informasiya texnologiyalarının simbiozudur. İstənilən növ modelin qurulması vaxtı aşağıdakı fəaliyyət planına riayət etmək arzu olunandır:

1) sistemin öyrənilməsi məqsədlərini qısaca və dürüst ifadə etmək; **2)** baxılan məsələ üçün ən əhəmiyyətli amilləri, komponentləri və dəyişən kəmiyyətləri müəyyən etmək; **3)** bu və ya digər tərzdə modelə daxil edilməmiş yad (əlaqəsi olma-

yan) amilləri nəzərə almaq; 4) nəticələrin qiymətləndirilməsini, modelin yoxlanılmasını, modelin dolğunluğunun qiymətləndirilməsini həyata keçirmək.

Model ayrı-ayrı prosedurların əlaqəli çoxluqları formasında qurulur. Riyazi modellərin qurulmasının əsas mərhələləri şəkil 3.1-də verilib.



Şəkil 3.1. Modelin yaradılması mərhələləri

3.2. Modelləşdirmə məsələsinin qoyuluşu və keyfiyyət təhlili

Məsələnin qoyuluşu mərhələsi öyrənilən problemin (ekoloji problemin) qoyuluşundan, məsələnin təsvirindən başlayır. Burada məsələ dedikdə həlli zəruri olan problem başa düşülür. Ekoloji sistemlər o qədər mürəkkəbdir ki, onların modelləri real sistemin ən sadələşdirilmiş formasından ibarət olurlar. Modelin işlənməsinin məqsədinin dəqiq qoyulması lazımi sadə variantların seçilməsi qərarının qəbul olunmasına kömək olar. Burada problemin mahiyyətinin səhih formulə edilməsi, qəbul ediləcək fərziyyələrin və cavabı axtarılan sualların müəyyənləşdirilməsi

əsasdır. Modelləşdirilən obyektin mühüm cəhətləri və xassələri bu mərhələdə ayırd edilir, ikinci dərəcəli elementlər nəzərdən atılır, mücərrədləşdirilir, obyekt və onun elementlərini əlaqələndirən əsas asılıqların strukturu öyrənilir, modelin baxılması sərhədləri müəyyənləşdirilir.

Məqsədlərə çatma bir neçə qayda ilə həyata keçirilə bilər. Onların heç də hamısı eyni dərəcədə qənaətli və səmərəli deyil, istifadədə müxtəlif məhdudiyyətlər ola bilər. Buna görə də tədqiqatların sonrakı mərhələlərində istifadə olunan qaydalar yəni-dən müqayisəyə məruz qalmalıdır. Bu mərhələ çox vacib mərhələdir, çünki o, modelin detallaşdırma dərəcəsini və onun xarakterinin modelləşdirmə obyektinə uyğun olmasını və nəticədə, riyazi tənliklərin seçilməsini təyin edir.

Ekosistemlərə tətbiqi nöqtəyi-nəzərdən onun strukturuna, tam və ya ayrı-ayrı hissələrinin davranışı mexanizmlərinə nisbətə qanun və həqiqətə uyğun fərziyyələrin qısaca və dürüst ifadə edilməsi (öz-özünə təşkilatlanma vaxtı bu qanunları kompüter “tapır”). Bu mərhələdə həmçinin sistem xarici mühitdən ayrılır, əlaqələr çoxluğu giriş və çıxış parametrlərinə bölünür. Sistem üzərində müşahidələr aparılır, sistemin strukturu və onun fəaliyyəti barədə fərziyyələrin irəli sürülməsi üçün kifayət edən informasiyanın toplanması həyata keçirilir. Bu mərhələdə modelləşdirmənin mürəkkəblik səviyyəsinin seçilməsi problemi tədqiqatçı qarşısında ortaya çıxır. Həmçinin, modelin işlənməsi və onun sonrakı sınağı üçün informasiya təminatının nəzərə alınması da vacib məsələlərdən biridir. Ona görə də istifadə olunacaq məlumatların adekvatlığını qiymətləndirməklə yanaşı, onların mənbələrinin də tezliklə aydınlaşdırılması məqsədə uyğundur. Bunlar göstərir ki, vaxta görə addım aqroekoloji və yaxud kənd təsərrüfatı sisteminin modelləşdirilməsinin təşkilinin səviyyəsinə görə təyin olunur.

Modelin işlənməsi vaxtı əsas tələblər aşağıdakı kimi ola bilər: tətbiqi istiqamət, modelləşdirilən proseslərin lazımi səviyyədə fiziki əsaslandırılması, riyazi cəhətdən korrekt şəkildə

yazılması, onun real şəraiti maksimum əks etdirməsi, modelin konstruksiyasının genişlənməsi imkanları, istifadə olunan riyazi alqoritmlərin effektivliyi və modelin bloklarının avtonomluğu, modelin praktikada istifadə edilməsində standart müşahidə məlumatlarından istifadə edilməsi imkanları və s.

Modelləşdirmənin keyfiyyət təhlili istənilən obyekt modelləşdirilməsinin əsasını təşkil edir. Modelin növü onun qurulma qaydasından, obyektin özünün xarakterindən və s. asılıdır. Bu vaxt əsas daxili və xarici amillər, onların qiymətləri və aralarındakı əlaqələr, funksiyaların növləri təyin edilir. Təbii ki, nəzərə alınan amillər tədqiqatların məqsədlərindən asılıdır və dəqiq və dürüst ifadə olunmalıdır. Modelə daxil edilməsi üçün seçilən parametrlər özlərinin kəmiyyət ifadələrini alırlar. Baxılan obyektin mövcud modellərinin təhlili və modelin növünün seçilməsi əsaslandırılır, blok-sxem formasında modelin keyfiyyət işlənilməsi həyata keçirilir, keyfiyyət modeli formalizasiya olunur.

3.3. Modellərin strukturunun işlənməsi və onların riyazi təhlili

İstənilən fiziki obyektin riyazi modelinin strukturunun qurulması vaxtı əvvəlcə onun iş prinsipini təsvir edən fiziki və ya informasiya modeli qurulur. Bu model sistemin tədqiqini və obyektin bütün əhəmiyyətli xassələrini, onların parametrlərini, iş prinsiplərini və əlaqələrinin seçilməsini nəzərdə tutur. Belə model bir çox hallarda ya sözlə təsvir, ya da sxem, cədvəl, ya da onların hər ikisinin qarışığı formasında qurulur. Bu addım öyrənilən obyekti formalizə etməyə imkan verir və növbəti addım – riyazi (işarə) modelinə keçidini səlisləşdirir.

Sonra riyazi model işlənilir və burada obyektin giriş və çıxış parametrləri arasında kəmiyyət asılılıqları müəyyənləşdirilir. Sonra fiziki və riyazi modelin əsasında EHM-lər üçün proqramdan ibarət olan hesablaşma modeli işlənilir. Kompüter modelində məlumatların üç növü seçilir: başlanğıc məlumatlar

(model barədə məlumatlar), aralıq hesablamalar və nəticələr. Bu mərhələdə analitik modelin məntiqi strukturunun riyazi realizasiyası həyata keçirilir. Riyazi üsulların tətbiqi texnologiyası nöqteyi-nəzərdən analitik model adətən ümumi formal asılılığı çıxarmağa imkan verən ciddi riyazi aparatı tətbiq etməklə nəzəri konsepsiyanın qurulmasıdır. Konkret modellər analitik formada (analitik tənliklər sistemi ilə) və kompüter proqramlarının məntiqi sxemləri növü ilə təqdim oluna bilərlər.

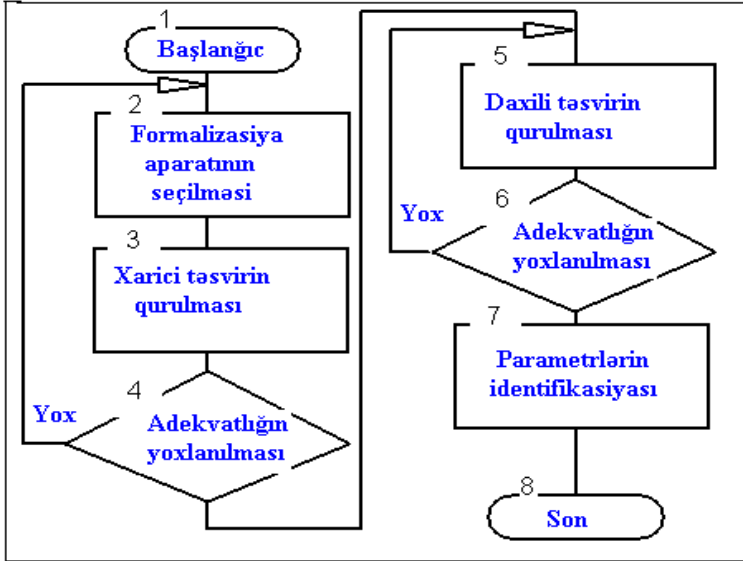
Modellərin strukturunun işlənməsi vaxtı formalizasiya aparatının seçilməsi tədqiqatçı tərəfindən həyata keçirilir və bir çox amillərdən, o cümlədən modelləşdirmənin məqsədlərindən, mövcud informasiyadan, alınmış eksperimental məlumatlardan asılıdır. Eyni zamanda onların modifikasiyası məsələlərinə də baxılır. Bu vaxt onun, prosesləri daha adekvat təsvir etməsi üçün strukturu mürəkkəbləşdirilir, ya da praktiki qəbul edilən həll variantlarına çatma xətinə sadələşdirilmə həyata keçirilir. Bu mərhələdə sırf riyazi tədqiqat üsulları ilə modelin və onun həlli yollarının ümumi xassələri aşkar edilir. Baxılan riyazi məsələ üçün hesabi və məntiqi əməliyyatlar ardıcılığından ibarət ədədi həll üsulu seçmək zəruridir. Həll olunan məsələlər bir o qədər də mürəkkəb deyilsə, lakin istifadəçinin EHM-də məsələ həll etmək təcrübəsi azdırsa, proqram baxımından daha sadə realizə olunan üsula üstünlük verilməli, ya da mövcud proqram təminatı olan üsullara müraciət edilməlidir.

Sonda qeyd etmək olar ki, modelin ən yaxşı strukturunun axtarışı müəyyən meyarlar sistemi əsasında avtomatlaşdırılmış formada aparıla bilər. Lakin, bəzi hallarda insanlardan istifadə etmək məqsədəuyğundur və onun üzərinə prosesin dinamikasında meyarların seçilməsi və korrektə edilməsi vəzifəsi qoyulur.

3.4. Modelin algoritminin işlənməsi və proqramlaşdırılması

Modelin algoritminin işlənməsi. Real sistemin, prosesin və ya hadisənin riyazi modelinin qurulması proseduru al-

qoritm formasında təqdim etmək olar. Riyazi modelin qurulması alqoritmini illyustrasiya edən blok – sxem şəkil 3.2-də göstərilmişdir.



Şəkil 3.2. Sistemin modelinin qurulmasının alqoritmi

Məsələnin ədədi həll üsulu standart kitabxana şəklində realizə oluna bilərsə, onda alqoritm, adətən başlangıç verilənlərin təsvirinə və daxil edilməsində altproqramın çağırılmasına və nəticənin ekrana, yaxud çapa çıxarılmasına gətirib çıxarır. Alqoritmın işlənməsinin mühüm tərkib hissəsi verilənlərin tərkibinin və təşkili üsullarının düzgün seçilməsidir. Alqoritmın işlənməsi, onun qrafiki təsviri, yaxud psevdokodlar şəklində yazılışı ilə yekunlaşır. Məqsəd proqramlaşdırma mərhələsinə qədər alqoritmın məntiqi cəhətdən düzgünlüyünə əmin olmaqdır.

Modelin alqoritminin proqramlaşdırılması. Mürəkkəb sistemlərdə baş verən proseslərin riyazi tənliliklərinin həlli və onların vasitəsilə aparılan hesablamaların həyata keçirilməsi ancaq EHM-lərdən istifadə etməklə mümkündür. Bu vaxt ən

vacib məsələlərdən biri dinamik proseslərin zamana görə hesablaşma addımlarının seçilməsidir. Təbii ki, hesablaşma addımı nə qədər kiçik olarsa proqramın hesablaşma əməliyyatının sürəti az və eyni zamanda ədədi proqramlaşdırmanın səhvləri də az olacaq və əksinə hesablaşma addımının artması sürətin və səhvlərin artmasına səbəb olacaqdır. Hesablaşma addımının maksimal qiyməti istifadə olunan inteqrallaşdırma üsullarından və riyazi tənliklərin xassələrindən asılıdır və çox böyük addımlı modellər düzgün nəticələr verməyə bilər. Yəqin ki, vaxta görə ən optimal addım o vaxtın 0.1–0.2 hissəsini təşkil edər ki, modelləşdirilən sistem kiçik tarazlıq pozulmasından sonra özünün stabil vəziyyətini bərpa edə bilsin.

Alqoritmin EHM dilində reallaşdırılması. Artıq ədədi həll üsulunu seçərkən və alqoritmi layihələndirən zaman müəyyən alqoritmik dilə istinad edilir. Bu mərhələdə bilavasitə proqramlaşdırma – alqoritmin EHM-in giriş dilində yazılması həyata keçirilir. Ona görə də proqramı tərtib edərkən konkret EHM–də dilin mümkün xüsusiyyətləri və imkanları ətraflı öyrənilməlidir.

Alqoritmik dildə yazılmış proqram EHM-in yaddaşına daxil edilməlidir. Proqramlaşdırma sistemi proqramlaşdırma dilini; translyatorları, kompilyator və ya interpretatorları; redaktorları və yükləyiciləri; sazlanma vasitələrini müəyyən sistem kitabxanalarını əhatə edir. Məsələn fərdi kompüterdə məsələn həll edərkən sistemlə ünsiyət prosedurası asanlaşır.

EHM-də məsələnin həlli. Bu vaxt EHM proqramda nəzərdə tutulan bütün əməliyyatları yerinə yetirir və nəticələri displeyin ekranına, yaxud çapa verir. Hesablaşma nəticələrinin sonrakı emalını asanlaşdırmaq üçün proqramın layihələndirilməsində nəticələrin verilməsi izahlarla müşayiət olunmalı, cədvəllərin adı verilməlidir, bir qrup verilənlər digərlərindən sətir buraxmaqla ayrılmalıdır, funksiyaların qiymətləri verildikən arqumentlərin qiymətlərini də vermək faydalıdır, funksiyalar parametrlərdən asılı olarsa, qiymətləri verməzdən əvvəl parametrlərin qiymətlərini göstərmək lazımdır.

3.5. Proqramın sazlanması, testlənməsi və sınağı

Proqramlaşdırma zamanı verilənləri klaviaturadan daxil edərkən səhvlər buraxıla bilər. Onların aşkarlanması, lokallaşdırılması və aradan qaldırılması proqramın sazlanması və testlənməsi mərhələsində yerinə yetirilir. Sazlanma mərhələsinin əhəmiyyəti və mürəkkəbliyi ilə əlaqədar mühüm müasir proqramlaşdırma sistemləri səhvləri aşkarlamağa və aradan qaldırmağa kömək edən xüsusi vasitələrə malikdir. Testləşdirmənin məqsədi ondan ibarətdir ki, həqiqətən proqramı nəzərdə tutulan məsələni həll etdiyinə və istənilən şərtlərdə düzgün cavablar alındığına yəqinlik hasil edilsin. Testləşdirmə, adətən xüsusi seçilmiş nəzarət verilənlərinin əsasında aparılır.

Modelin sınağında həmçinin modelin özünü aparmasının təhlilini (məsələn, modelin iqlim dəyişmələrinə reaksiyası) və onun həssaslıq təhlilini (məsələn, modelin hər hansı bir parametrin dəyişməsinə reaksiyası) daxil etmək olar. Baxılan proseduralar modelin adekvatlıq diapazonunun və dəqiqlik dərəcələrinin nəzərə çarpacaq formada yaxşılaşdırılmasına və beləliklə, mürəkkəb modellərin sadələşdirilməsinin obyektiv əsasının təyin olunmasına kömək edirlər.

Tədqiq olunan riyazi modelin qurulması hesabalama sınağının əsasını təşkil edir. Burada baxılan problem konkret riyazi asılıqlar və münasibətlər (funksiyalar, tənliklər, bərabərsizliklər və s.) şəklində ifadə olunur. Adətən əvvəlcə riyazi modelin əsas konstruksiyası təyin edilir və onun tətbiqi imkanları öyrənilir, daha sonra bu konstruksiyanın detalları dəqiqləşdirilir. Kompüter modeli işləndikdən sonra bir və ya bir sıra kompüter eksperimentləri də aparıla bilər. Eksperimentlərin nəticələri gözlənilən və məlum (real sistemdən alınan məlumatlar) nəticələrlə müqayisə edilir. Əgər qeyri-qənaətbəxş nəticə alınarsa, onda modeldə xətalərin axtarılması və aradan qaldırılması həyata keçirilir, yəni modelin sazlanması aparılmalıdır.

3.6. Modelin identifikasiyası və adekvatlığı məsələləri

Modelin parametrlərinin identifikasiyası. Riyazi modellərin qurulması mərhələlərində onların parametrlərinin identifikasiya üsulları ən yaxşı işlənmiş üsullardır və onlar modelin parametrlərinin əsaslandırılmış qiymətlərinin təyin olunmasını təmin edir. Onların istifadəsində hesab olunur ki, sistemin strukturu məlumdur, ancaq parametrlərin qiymətləri məlum deyil. Bu halda parametrik identifikasiyanın məsələsi parametrlərin elə qiymətlərinin axtarışından ibarətdir ki, onlar müəyyən bir səhvlər funksiyasının minimizasiyasını təmin etsin. İdentifikasiya termini modelin elə keyfiyyətə yoxlanmasına nisbətən istifadə edilir ki, modelləşdirilən kəmiyyət real sistemdə müşahidə olunan kəmiyyəti düzgün təsvir etsin. Bu vaxt EHM-də ədədi eksperimentlər aparmaqla modelin (məsələn, kənd təsərrüfatı bitkiləri modellərinin) standart və yaxud ideal şəraitdə reaksiyasını tədqiq edir. Modelin parametrlərinin identifikasiyasında, işlənməsində istifadə olunan eksperimental məlumatlar kifayətdir.

Beləliklə, modelin parametrlərinin identifikasiyası dedikdə, onun parametrlərinin təyin edilməsi nəzərdə tutulur, çöl və laboratoriya şəraitində aparılan eksperimental materiallar əsasında həyata keçirilir. Xüsusi olaraq qeyd etmək lazımdır ki, bir kompleks eksperimentin nəticələrinə əsasən nə qədər çox model parametri təyin edilərsə, onun tətbiq edilmə diapazonu bir o qədər geniş olar.

Modelin adekvatlığının yoxlanılması. Bu prosesdə adətən, model vasitəsilə alınan qiymətlərin asılı olmayan eksperimentlərin, yəni modelin işlənməsi zamanı istifadə olunmayan eksperimental məlumatların nəticələrinə uyğunluğu, həmçinin də modelin dəqiqliyi yoxlanılır. Məsələn, əgər modelin hazırlanmasının məqsədi məhsulun formalaşması prosesini təsvir etməkdirsə, onda adekvatlıq nöqtəyi-nəzərindən model həm məhsulun miqdarını mümkün qədər dəqiq hesablamalı, həm də xarici mühit amillərinin və aqrotexnikanın göstəricilərinin hansı

formada onun formalaşmasına təsirini nəzərə almalıdır. Bəzi hallarda model vasitəsilə alınan proqnostik qiymətin eksperimental məlumatlarla tutuşdurulmasını modelin kalibrovkası üçün istifadə edirlər. Bu üsul reallığı normal qaydada imitasiya edən modelin hazırlanmasına köməklik edər, amma sistemin daxili mexanizmlərinin başa düşülməsi üçün etibarlı əsas deyildir. Modelin yoxlanması onun identifikasiyasında istifadə edilməyən müşahidə və eksperimental məlumatlar əsasında həyata keçirilməlidir. Yoxlama üçün lazım olan məlumatların tərkibində ümumiyyətlə bir sıra dinamik xarakteristikalar olmaya da bilər. Ən əsası odur ki, modelləşdirilən sistemin çıxış nəticələri verilən amillər üzərində müşahidələrin və ölçmələrin nəticələri ilə uyğun gəlsin. Bunlardan əlavə, modelin yoxlanması üçün nəzərdə tutulan eksperimentləri planlaşdırarkən, vacibdir ki, üzərində müşahidələr və ölçmələr aparılan parametrlər tədqiq olunan sistemin əsas xassələrini və onun dinamikasının xüsusiyyətlərini əks etdirsinsin. Yuxarıda göstərilənlərlə bərabər, adekvatlığın qiymətləndirilməsində iki altmərhələni seçmək olar: verifikasiya və validasiya.

Modelin verifikasiyası onun iş qabiliyyətinin yoxlanılması və real ekosistemə adekvatlıq dərəcəsinin qiymətləndirilməsi deməkdir. Bu altmərhələ tədqiqatların dəqiq cizgilənmiş mərhələsi olmalıdır. Həmçinin müəyyən edilməlidir ki, modelin ümumi davranışı real sistemi doğru əks etdiririmi, yəni model nəzərdə tutulan işləri yerinə yetirirmi? Verifikasiya – modelin əsasını təşkil edən fərziyələrin dəqiq yoxlanılması deyil, ancaq tədqiqatçının planına müvafiq nöqtəyi-nəzərdən modelin davranışının subyektiv qiymətləndirilməsidir. Verifikasiya metodoloji korrekliyə nəzarət üçün istifadə edilir. Verifikasiya vaxtı empirik yoxlama aparıla bilər (yəni, model vasitəsilə alınan nəticələrin orijinal üzərində aparılmış müşahidələrin nəticələri ilə müqayisə edilməsi). Bu zaman model o halda yüksək keyfiyyətli ola bilər ki, onun vasitəsilə alınan proqnozlar özünü doğrultsun. Empirik məlumatlar olmadıqda isə nəzəri verifikasiya

aparılır, yəni nəzəri təsəvvürlərə əsasən modelin tətbiq oblastı və proqnostik imkanları təyin edilir.

Validasiya – modelin onun qarşısında qoyulan məqsədlərə uyğunluğunun keyfiyyət qiymətləndirilməsidir. Verifikasiyadan fərqli olaraq validasiya real sistemə analoji təsir vaxtı alınan nəticələrin modelin çıxış nəticələri ilə hansı dərəcədə uyğunluğunu kəmiyyətcə ifadə edir. Bu vaxt modellərin qiymətləndirilməsinin ən geniş yayılan üsulu statistik sınaqlardır. Modelin qiymətləndirilməsi vaxtı iki variant mümkündür:

1. Modelin adekvatlığının qiymətləndirilməsinin nəticələri qeyri-qənaətbəxşdir (belə hallar tez-tez modelləşdirmənin başlanğıc mərhələlərində müşahidə olunur). Onda modelin belə davranışının səbəblərinin təhlili aparılır. Öncə modelləşdirilən obyekt barədə giriş informasiyası dəqiqləşdirilir. Lazım gələnlərdə isə məsələnin qoyuluşu, modelin strukturu və parametrləri, funksiyaların növləri dəqiqləşdirilir. Bundan sonra yenidən modelin real obyektə tutuşdurulması həyata keçirilir;

2. Modelin adekvatlığının öyrənilməsinin nəticələri qənaətbəxşdir və onu istismara qəbul edirlər. Bu vaxt istifadəçilərin kompüterlə əlaqəsini təmin edən rahat proqramlar sistemi də yaradılmalıdır.

Verifikasiya və validasiya – fasiləsiz proseslərdir və modelin qurulması mərhələlərinə müvafiq olmalıdırlar.

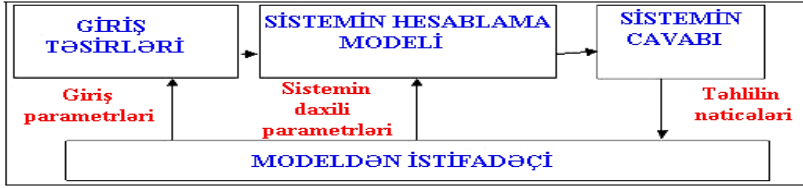
3.7. Modelin həssaslığının təhlili

Modelin ilkin sınaq dövrlərindən başlayaraq, onun işlənməsinin müxtəlif mərhələlərində həssaslıq təhlili lazımı və faydalı ola bilər. Verifikasiya altmərhələsi isə mütləq öz tərkibinə modelin həssaslığının yoxlanılmasını daxil edir. Həssaslığın ilkin təhlili real sistemin özünü aparmasının imitasiyası üçün əhəmiyyətsiz olan dəyişən kəmiyyətlərin aşkar olunmasına imkan verir. Digər tərəfdən, modeldə sabit kəmiyyət hesab olunan bir sıra amil real sistemdə dəyişən kəmiyyət ola bilər. Həssaslıq təhlili həmçinin bu amillərin mümkün olan tərəddüd-

lərinin hansı dərəcədə əhəmiyyətli olmasını təyin etməyə imkan verir. Həssaslığın ilkin təhlilinin ən əsas məqsədlərindən biri də modeldə istifadə olunan ətraf mühit amillərinin ölçmə dəqiqliyini aşkar etməkdir. Modelin həssaslığının tam təhlili onun hansı asılılıqlarının modelin müvəffəqiyyətlə işlənməsinə həlledici təsirin olmasını göstərməkdir. Bunlardan başqa, həssaslığın tam təhlili modelin girişində və çıxışında alınan məlumatlar arasında sadələşdirilmiş asılılıqların tapılmasına imkan yaradır. Əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirilmiş model praktiki məqsədlər üçün faydalı ola bilər və yaxud submodel kimi daha yüksək səviyyəli kompleks modelin tərkibinə daxil ola bilər. Model vasitəsilə ədədi eksperimentlərin aparılması hər hansı bir sistemin riyazi modelləşdirilməsinin son mərhələsidir və bu vaxt böyük miqdarda məsələlər həll etmək olar.

Modelin tədqiqi - onun həllərinin dayanıqlığının, parametrlərin dəyişmələrinə həssaslığının təhlili, model informasiyasının interpretasiyası və onun üzərində eksperimentlərin aparılması deməkdir. Bu mərhələnin əsas məqsədi yeni qanunauyğunluqların ortaya çıxarılması və modelin strukturunun optimallaşdırılması modelləşdirilən sistemin davranışının idarə edilməsi imkanlarının, həm də proqnozlaşdırma üçün modelin yararlığının tədqiqidir.

Bu mərhələdə həm də hər şeydən əvvəl modelləşdirmənin nəticələrinin düzgünlüyü və tamlığı kimi mühüm məsələ nəticələrin praktiki fəaliyyətdə və eləcə də modelin təkmilləşdirilməsində istifadəsi ön plana keçir. Ona görə də ilk növbədə ən mühüm əlamətlərinə görə modelin adekvatlığı yoxlanılmalıdır, modelin strukturunun düzgünlüyü, model əsasında alınan verilənlərin real prosesə uyğunluğu müəyyənləşdirilməlidir. Ekoloji modellər üzərində hesablamaların çoxvariantlılığı, aparılan çoxsaylı model eksperimentləri, sürətlə işləyən müasir EHM-lərdə müxtəlif şəraitlərdə modelin sınılanması ekoloji modelləşdirmənin məsələlərinin həll alqoritmlərini və kompüter proqramlarının tətbiqi imkanlarını daha da artırır (şəkil 3.3).



Şəkil 3.3. Hesablama modelinin köməyi ilə sistemin təhlili prosesi

Əgər zərurət yaranarsa, onda əlavə məlumatların və amillərin və mümkün məhdudiyyətlərin və dəqiqləşdirilmələrin daxil edilməsi yolu ilə alınan nəticələrin korrektə edilməsi aparılır.

IV FƏSİL. EKOLOJİ SİSTEMLƏRİN RİYAZİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ MƏSƏLƏLƏRİ

4.1. Ekosistemin riyazi modelləşdirmə obyektini kimi tədqiqi

Ekologiya vasitəsilə öyrənilən populyasiyalar, biosenozlar, ekosistemlər, biosfer kimi sistemlər həddən artıq mürəkkəbdir. Onlarda böyük miqdarda qarşılıqlı əlaqələr əmələ gəlir, onların gücü və sabitliyi fasiləsiz olaraq dəyişir. Eyni bir xarici təsir bir çox hallarda müxtəlif, bəzi hallarda isə bir-birinə zidd nəticələrə gətirib çıxarır. Bu, təsir vaxtı sistemin olduğu vəziyyətdən asılıdır. Hər bir konkret amilin təsirini ancaq bu sistemdə mövcud olan qarşılıqlı kəmiyyət münasibətlərinin və qanunauyğunluqların mürəkkəb təhlili yolu ilə öncədən görmək olar. İrmiqiyaslı layihələrə cəlb olunan təbiət sistemlərinin unikalığı onlar üzərində fəal eksperimentlərin aparılması mümkünlüyünü kəskin məhdudlaşdırır. Buna görə də ekologiyada modelləşdirmə üsulları geniş tətbiq olunur. Bu, xüsusilə antropogen fəalliyətin və ətraf təbii mühitin qarşılıqlı təsirlərinin öyrənilməsində və proqnozlaşdırılmasında özünü biruzə verir.

Riyazi ekologiyanın fundamentini populyasiyaların dinamikasının riyazi nəzəriyyəsi təşkil edir, burada heyvanların, bitkilərin, mikroorqanizmlərin növlərinin say dinamikası və onların qarşılıqlı təsirləri barədə fundamental bioloji təsəvvürlər riyazi strukturlar görünüşündə, ilk növbədə isə differensial, inteqral-differensial və fərq tənlikləri sistemi ilə formalizasiya olunub.

İstənilən ekosistem qeyri-xətti qarşılıqlı təsirdə olan alt-sistemlərdən təşkil olunub və onları müəyyən bir iyerarxik strukturda nizamlamaq olar. Komponentlərin və altçoxluqların daha iri funksional vahidlərə birləşməsi baş verdikcə, yeni yaranmış sistemlərdə, onları təşkil edən komponentlərdə olmayan xassələr əmələ gəlir. Ekoloji səviyyənin və ya ekoloji vahidin belə keyfiyyətcə yeni “emergent” xassəsi, onu təşkil edən kom-

ponentlərin xassələrinin sadə cəmi deyil. Elə bu səbəbdən də mürəkkəb ekosistemləri iyerarxik bölmə yolu ilə altsistemlərə ayırmaq və belə altsistemləri ayrıca öyrənmək mümkün deyil. Əks halda öyrənilən sistemin tamlığı ilə təyin olunan xassələrin itirilməsi qaçılmaz olacaq.

Xarici amillərin ekosistemlərə təsirinə də bir-birindən asılı olmayan formada baxmaq olmaz, belə ki, onların kombinə edilmiş təsirlərini fəaliyyətdə olan amillərin cəminə gətirmək olmaz. Mürəkkəb ekosistemlərin müxtəlif amillərin kompleks təsirlərinə reaksiyasını kəmiyyətcə ifadə etmək yuxarıda göstərilmiş çətinliklərdən daha da mürəkkəb məsələdir.

Bütün bu səbəblər mürəkkəb ekosistemləri sadə ixtisar edilmiş “mexaniki” modellərin köməyi ilə təsvirinin mümkün-süzlüyünə gətirib çıxarır. Bunun üçün ya sistemin elementləri və onların qarşılıqlı təsirlərinin növləri barədə model səviyyəsində bir mürəkkəb sistemə birləşdirilmiş mürəkkəb imitasion modellər, ya da ekosistemlər üzərində çoxsaylı müşahidə məlumatlarını inteqrə edən “təsir-cavab” tipli sadələşdirilmiş inteqrəedici modellər lazımdır.

Bunlarla bərabər, riyazi modellər ekologiyada o vaxt faydalı olurlar ki, nə isə aydın olmayan halları izah və yeni eksperimentlərin aparılmasını təlqin etsin. Belə modelləri qurmaq çox çətindir. Bu nöqtəyi nəzərdən riyaziyyatın ekologiyada rolu təbiətin nədən ibarət olmasının dərk edilməsində intuisiyanın idarə edilməsidir. Bu, əlbətdə ki, müəyyən hallarda ciddi təhlildən yayınmağa əsas vermir. Bu halda kompüter modelləşdirilməsinin imkanlarına tam etibar etmək lazımdır.

Müasir dövrdə insanların biosferdəki proseslərin dəyişmələrinə təsiri təbii mənşəli enerji ilə müqayisə olunan hala çatdığı üçün bir çox tədqiqatçıların diqqətini insanların və biosferin qarşılıqlı təsirləri cəlb edir. Bu səbəb də riyazi ekologiyanın ən vacib istiqamətlərindən biri olmasını şərtləndirmişdir.

Ekoloji proseslər üzərində eksperimental və natur müşahidələrin aparılması onların uzunmüddətli olması ilə mürəkkəbləşir. Məsələn, kənd təsərrüfatı sahəsində tədqiqatlar başlıca olaraq məhsuldarlığın təyini ilə əlaqəlidir. Məhsul isə ildə bir dəfə yığılır. Buna görə də bir eksperiment dövrü bir il və daha çox çəkir. Etibarlı nəticələrin alınması üçün isə nisbətən uzun illər üzrə məlumatlar tələb olunur. Eyni hallar balıqçılıq, meşə və digər təbiət obyektləri üçün xarakterikdir. Buna görə də, riyazi modelləşdirmə ekologiyada, təbiətdən istifadədə və təbii ehtiyatların idarə edilməsində zəruri alətdir.

Riyazi modelləşdirmənin dəyəri o halda aydın görünür ki, praktiki məqsədlər üçün konkret irimiqyaslı ekoloji problem öyrənilsin. Həm də lazımı məlumatları riyazi modelə daxil etməklə, insanın tədqiq olunan ekoloji sistemə bu və ya digər təsirini əvvəlcədən demək və modelin parametrlərinin dəyişməsi vaxtı lazım olan xarakteristikaları almaq mümkün olsun.

Beləliklə, ekoloji obyektləri və prosesləri, onların tədqiqat üsullarını öyrənən riyazi elm sahəsi *riyazi ekologiya* adlanır. Metodiki cəhətdən bu elmin təşəkkül tapması çox səciyyəvidir. Məsələn, istənilən riyazi modelin qurulma prosedurası nədən başlanılmalıdır? Onun əsas mahiyyəti nədən ibarətdir? Riyazi model ilk əvvəl o seçmə məhdudiyyətlərini və prinsipləri nəzərə alır ki, onlar mümkün ola bilən siyahıdan ancaq real mümkün dəyişmələri seçir. Belə prinsiplər saxlanılma qanunlarıdır. Məsələn, müasir fizikanın təşəkkül tapması saxlanılma qanunlarından başlamışdır və onun birinci seçmə prinsipi impulsun saxlanılması qanunu olmuşdur. Saxlanılma qanunları (balans əlaqələri) istənilən fiziki modelin əsasını təşkil edir.

Tam dəqiqliklə ekologiyada da belədir. Ekoloji və təkamül prinsiplərinin formalizasiya olunmuş təsvirində balans əlaqələri, elə kütlənin saxlanılması qanunudur. Balans əlaqələri çox vacib və maraqlı informasiya daşıyır. Bu əlaqələrdən təşkil olunmuş riyazi model mümkün vəziyyətlər çoxluğunun ümumi xassələrini və onların vaxta görə dəyişməsini təsvir edir. Ümu-

miyyətlə, isə müasir riyazi ekologiya elmlərarası oblastdan ibarətdir və onun tərkibinə ekoloji sistemlərin riyazi və kompüter təsvirinin bütün mümkün ola biləcək üsulları daxildir. Ekosistemlərin riyazi modelləşdirilməsi yeni elmi istiqamətdir və ekoloji proseslərin əhəmiyyətli dərkətmə aparatına çevrilir və praktikanı onların idarə edilməsinə yaxınlaşdırır. Bununla belə, riyazi modelləşdirmə və eksperimental müşahidələr qarşılıqlı olaraq bir-birini tamamlayır və inkişaf etdirir.

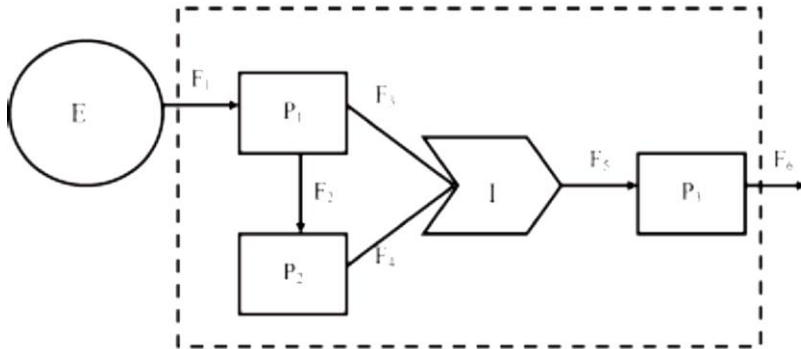
4.2. Ekoloji sistemlər mürəkkəb sistemlər kimi

Ekoloji sistemlərin mürəkkəb sistemlərə aid edilməsinin əlamətləri. Bir çox səbəblərlə bərabər, ekosistemlərin mürəkkəbliyi canlı orqanizmlərin özlərinin dəyişkənliyi ilə dərinləşir. Bu dəyişkənlik həm orqanizmlərin bir-biri ilə qarşılıqlı təsirlərində (məsələn, rəqabət və ya yırtıcılıq prosesində), həm də orqanizmin xarici mühitin dəyişmələrinə reaksiyasında özünü biruzə verə bilər. Bu reaksiya böyümə və yenidən istehsalın sürətinin dəyişməsində və güclü fərqlənən şəraitdə ölməyib sağ qalmaya müxtəlif bacarıqla ifadə ola bilər. Bunlara iqlim və yaşayış mühitinin dəyişməsi kimi mühit amilləri daxildir. Buna görə də, ekoloji proseslərin tədqiqi və tənzimlənməsi həddən ziyadə mürəkkəb məsələdən ibarətdir.

Ekoloji sistemlərin mürəkkəb sistemlərə aid edilməsinin əsas əlamətinə burada həll prosesinin (və deməli, məqsədin mövcudluğu) mahiyyətinin olması aiddir. Digər göstərilən əlamətlərin olması da zəruridir: -qarşılıqlı əlaqəli və qarşılıqlı təsirdə olan elementlər çoxluğu; -məqsədin çoxamilliyi; -sistemin altsistemlərə bölünməsi mümkünlüyü; -sistemdə informasiya, energetik, maddə axınlarının idarəedilməsi çoxluğu; - xarici mühitlə qarşılıqlı təsir.

Mürəkkəb ekoloji sistemin şərti təsviri şəkil 4.1-də təqdim olunmuşdur.

Ekosistemlərin müxtəlif komponentli struktur sxemləri. İmitasiya modelləşdirilməsi ekosistemlərin, xüsusilə də bios-



**Şəkil 4.2. Struktur sxem: E – hərəkətdirici qüvvə;
 P – xassələr; F – maddə və enerji axınları;
 I – qarşılıqlı təsirlər**

1) enerji mənbəyi və ya digər xarici hərəkətdirici qüvvə;
 2) vəziyyətin dəyişənləri xassələri; 3) xassələrin öz aralarında və enerji və maddə axınları vasitəsilə təsir edən qüvvələr arasında axınların istiqamətləri; 4) qarşılıqlı təsirlər və ya qarşılıqlı təsir funksiyaları, haradakı qüvvə və xassələr öz aralarında qarşılıqlı təsirdə olaraq, maddə və enerjinin yerdəyişməsinə dəyişir, gücləndirir və ya nəzarət edir və keyfiyyətə yeni (emergent) xassələr yaradır.

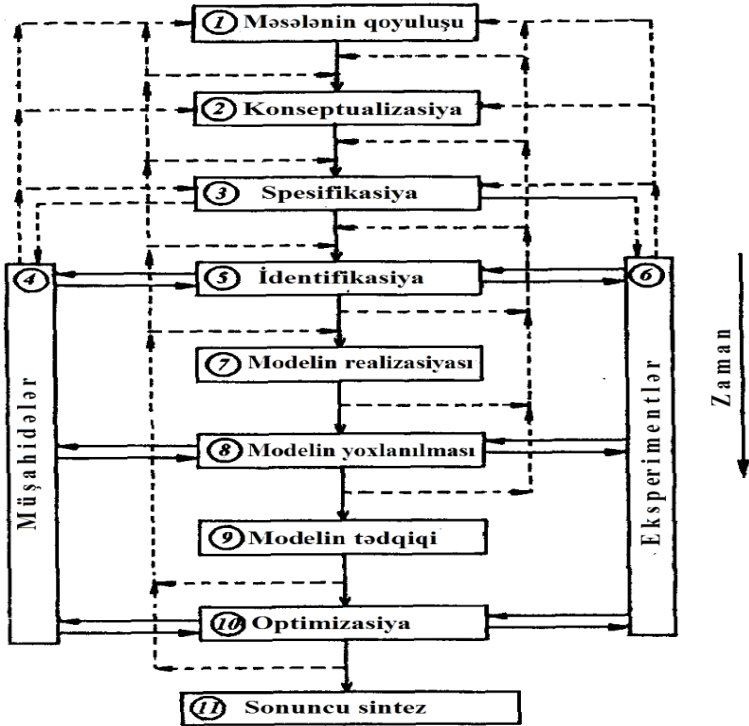
Struktur sxemlər qrafiki modellərin növlərindən biridir. Qrafiki modellər cədvəl, diaqram və qrafiklər şəklində proseslər arasında asılılıqları ifadə edir.

4.3. Ekoloji sistemlərin öyrənilməsində sistemli yanaşma

Ekosistemlərin öyrənilməsi o vaxt ən səmərəli ola bilər ki, bütün üsullar – müşahidə, eksperiment, modelləşdirmə, sistemli yanaşma əsasında ekoloji tədqiqatların vahid prosesi altında inteqrasiya olunur. Ekosistemlərin öyrənilməsi mərhələləri sxematik olaraq şəkil 4.3-də göstərilmişdir.

Ekoloji sistemlərin modelləşdirilməsi prosesində ekosistemlərdə fəaliyyətdə olan amillər çox vacib rol oynayır. Baxılan ekosistemə nisbətə ekoloji amillər xarici (ekzogen) və daxili

(endogen) amillərə bölünür. Eyni zamanda ekoloji amillər biotik və abiotik növlərə bölünür. Ekoloji ədəbiyyatda əsasən ekosistemlərin və xarici mühitin fərqləndirici xassələrinə əsasən ekoloji amilləri meteoroloji (iqlim), geoloji, hidroloji, miqrasiyon (biocoğrafi), antropogen, edafik və biotik amillərə bölünməsi də göstərilir.



Şəkil 4.3. Modelləşdirmə vaxtı ekosistemlərin öyrənilməsi mərhələləri

Vacib təsnifatlaşdırıcı göstərici kimi ekoloji amillərin zaman dinamikası, xüsusilə də dövrülyün olub-olmaması (sutkalıq, aylıq, fəslı, çoxıllıq) çıxış edir.

Ekoloji amillər arasında summativ (additiv) amillərə xüsusi yer ayrılır və onlara populyasiyaların sayını, biokütləsini və

ya sıxlığını, həm də maddə və enerjinin müxtəlif formalarının ehtiyatlarını və konsentrasiyalarını xarakterizə edən amillər aiddir. Belə amillər *resurslar (istilik, rütubət, üzvi və mineral qida ehtiyatları) adlanır.*

Onlardan fərqli olaraq, radiasiyanın intensivliyi və spektral tərkibi, səs-küy səviyyəsi, oksidləşdirici-bərpaedici potensial, küləyin sürəti, qidanın ölçüsü və forması və s. canlı orqanizmlərə güclü təsir edən amillər kateqoriyasına aid edilir.

Canlı orqanizmlərə təsir dərəcəsinə görə ekoloji amillər eyni gücə malik deyillər. Bunun nəticəsində ekosistemlərdə müxtəlif növlü bəzi amillər ən əhmiyyətli və ya imperativ kimi seçilir.

Ekoloji sistem və hadisələrin modelləşdirilməsində emergentlik prinsipi, yəni, altsistemlərin xassələrinə gətirilə bilinməyən sistemin yeni integrativ xassələrinin ortaya çıxmasının nəzərə alınması xüsusi problemdən ibarətdir. Ekosistemlərin bütün amillərlə yox, ancaq açar rolunu oynayan emergent amillərlə idarə olunduğu məlum olduğundan, ekoloji modellərin praktiki realizasiyası vaxtı onların nəzərə alınması hökmən lazımdır.

4.4. Riyazi ekologiyanın məsələləri

Riyazi ekologiyanın əsas məsələləri. Riyazi ekologiyanın ən başlıca məsələlərindən biri ekosistemlərin dayanıqlıq probleimidir. Ekosistem o vaxt «dayanıqlı» və ya «stabil» olur ki, lazımı qədər uzun müddət ərzində müxtəlif növlərin nümayəndələrinin nisbi sayı ya dəyişməz qalsın, ya da müntəzəm olaraq eyni nisbətə qayıtsın. Tamamilə aydın görünür ki, dayanıqlıq bu mənada mütləq yox, nisbi xassədir. Heç bir ekosistem yuxarıda göstərilmiş müddət ərzində dayanıqlılığını qoruyub saxlaya bilməz, lakin onlardan bəziləri digərilərinə nisbətən daha stabildirlər. Ekosistemlərin dayanıqlılığı ilə bu sistemlərin idarə edilməsi sualları sıx əlaqəlidirlər, belə ki, insanların bioloji qrupların fəaliyyətinə müdaxiləsi elə formada olmalıdır ki, ekosistemə belə təsirlər sistemin taraz vəziyyətlərinin dayanıqlılığı

nın saxlanması nəzərə alınmaqla həyata keçirilsin. Bu vaxt sistemin bir dayanıqlı vəziyyətdən digərinə köçürülməsi məqsədilə onun idarə edilməsi məsələsi ortaya çıxır. Buna görə də dayanıqlıq məsələsi ilə bərabər, riyazi ekologiyada ekosistemlərin idarə olunmasının optimallaşdırılma məsələlərinə də baxılır.

Ekologiyada riyazi modellərin işlənilməsi vaxtı digər başlıca məsələlərdən biri də lazımı səviyyədə dolğun modelin yaradılmasıdır. Bunun üçün çalışmaq lazımdır ki: -baxılan hadisələrə təsir edən bütün əhəmiyyətli amillər nəzərə alınsın; -modelin dolğunluğunun əlamətlərindən biri olan modeldə olan ziddiyyətli elementlərin mövcudluğuna xüsusi diqqət yetirilsin; -lazım olan hallarda modelə yeni element daxil etmək üçün naməlum amillərin ortaya çıxması imkanları nəzərə alınsın.

Riyazi modelləşdirmə vaxtı ekoloji sistemlərin məkan təşkili xüsusi maraq kəsb edir. Son dövrlərə qədər hesab olunurdu ki, növlərin paylanması məkan qeyri-bərabərliyi əsasən landşaft-iqlim amilləri ilə əlaqəlidir. Son illərdə isə belə qeyri-bərabər paylanmanın həm də populyasiyalar arası və hərəkətsiz mühit komponentləri arasındakı spesifik lokal qarşılıqlı təsirlərlə şərtləndirilməsi faktı daha dərinə dərk edilməyə başlamışdır.

Nümunə kimi, göstərmək olar ki, məkan qeyri-bərabərlik nəzərə alınmasa fərdlərin mütəhərrikliyinin populyasiyaların sayının tənzimlənməsinə, yerdəyişmələrin sayının tərəddüdlərinin sinxronizasiyasında və ya sönməsində təsirini qiymətləndirmək qeyri-mümkündür. Müasir riyazi aparat bu sualları aydınlaşdırmağa, həm də irimiqyaslı məkan strukturlu populyasiyaların lokal dinamikaları və növ və növ qruplarının uzunmüddətli uyğunlaşma qabiliyyətləri arasında əlaqələri qurmağa imkan verir. Digər bir əsas məsələ ondan ibarətdir ki, bioloji populyasiya və qruplar açıq-açıqına energetik cəhətdən “axarı olan”dır və modelləşdirmə prosesində bu mütləq nəzərə alınmalıdır.

Ekoloji sistemlər həm də dövrü və qeyri-dövrü geofiziki təsirlərə məruz qalırlar, onların bioloji tərkib hissələri endogen bioloji ritmlərə (bioloji saatlara) malikdir. Müasir zamanda ekoloji sistemlərdə lokal (nöqtəvi) sistemlərdəki tərəddüdü rejimlər və məkan-zaman strukturları arasında əlaqə problemləri fəal surətdə həll olunur. Fiziki və kimyəvi sistemlərdə olduğu kimi, mürəkkəb ekoloji sistemlərdə kütlə - və enerji mübadiləsinin yollarını təyin edən qeyri-xətti qarşılıqlı təsirlərin xarakteri həlledici rol oynayır. Adətən riyazi modelləşdirmə vaxtı məsələ ondan ibarət olur ki, ekoloji sistemlərin kinetik komponentlərinin əsaslandırılmış proqnozlarını almaq mümkün olsun. Bu vaxt müxtəlif ilkin fərziyyələr irəli sürülür və modellərin öyrənilməsi vaxtı müvafiq məqsədlər güdülür. Bu məqsədləri riyazi ekologiyanın yaradıcılarından biri olan A.A.Lyapunov belə formalaşdırmışdır:

A) Komponentlərin bioloji xarakteristikaları, həm də onlar arasındakı münasibətlər dəyişməzdir. Sistem məkanda bircins hesab olunur. Vaxta görə sistemin komponentlərinin sayı (biokütləsi) öyrənilir.

B) Bircinslik fərziyyəsinin saxlanılması vaxtı komponentlər arasındakı münasibətlər sisteminin qanunauyğun dəyişməsi barədə ehtimal daxil edilir. Bu, ya xarici şəraitlərin (məsələn, fəslə) qanunauyğun dəyişməsinə, ya da sistemi yaradan formaların verilmiş təkamülü xarakterinə müvafiq ola bilər. Bu vaxt yenə də əvvəlki kimi komponentlərin sayının kinetikasi öyrənilir. Bu iki məsələ sinifinin öyrəniləmsinin aparatı kimi adi differensial tənliklər və sabit və dəyişən əmsalları olan differensial-fərq tənlikləri çıxış edir.

C) Obyektlər öz xassələrinə görə qeyri-bircins və seçilmənin təsirinə məruz qalan kimi hesab olunurlar. Fərz edilir ki, formaların təkamülü sistemin mövcudluğu şəraitləri ilə təyin olunur. Bu şəraitlərdə bir tərəfdən komponentlərin sayı, digər tərəfdən isə - populyasiyaların sayının dreyfi öyrənilir. Belə məsələlərin həlli vaxtı ehtimal nəzəriyyəsi aparatından istifadə

olunur. Onlara populyasion genetikanın bir çox məsələləri aiddir.

Ç) Ərazi bircinslikdən imtina etmə və ortalaşdırılmış konsentrasiyaların koordinatlardan asılılığı nəzərə alınır. Burada sistemin canlı və hərəkətsiz komponentlərinin məkana görə yenidən paylanması ilə əlaqəli suallar ortaya çıxır. Məsələn, hidrobiont növlərinin sayı (biokütləsi) sututarın dərinliyi dəyişdikcə dəyişir. Belə sistemlərin təsviri üçün isə xüsusi tərtibli differensial tənliklər aparatının cəlb edilməsi zəruridir.

Klassik ekologiyada riyazi modellərin yaradılmasının aşağıdakı bir neçə məqsədi də mövcuddur: - modellər böyük miqdarda unikal müşahidələrin vacib, lakin pərakəndə xassələrini bir neçə parametrin köməyi ilə məzmunu seçməyə imkan yaradır, bu isə baxılan prosesin və ya problemin təhlilində ekoloqun işini asanlaşdırır; - modellər “ümumi dil” rolunda çıxış edirlər və onun köməyi ilə hər bir nadir hadisə təsvir oluna bilər və belə hadisələrin nisbi xassələri daha aydın olur; model “ideal obyekt” və ya ideallaşdırılmış davranış rolunda çıxış edə bilər və onlarla müqayisə vaxtı real obyektləri və prosesləri qiymətləndirmək olar; - modellər həqiqətən də real dünyanın təkmil olmayan imitasiyası kimi, onun barədə həddən çox məlumat verə bilər.

4.5. Bioloji sistemlərin və ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi

Ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi prosesində bioloji sistemlərin vacib spesifik xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması. Ekologiyada riyazi modellərin qurulması vaxtı bioloji sistemlərin aşağıdakı spesifik xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla mexaniki və fiziki sistemlərin riyazi modelləşdirilməsi təcrübəsindən istifadə olunur: - hər bir fərdin daxili quruluşunun mürəkkəbliyi; - orqanizmlərin həyat fəaliyyəti şəraitinin xarici mühitin bir çox amillərdən asılılığı; - ekoloji sistemlərin qeyri-qapalılığı; - sis-

temlərin həyat qabiliyyətinin saxlanması mümkünliyünün xarici xarakteristikalarının çox böyük diapazonu.

Biologiyada canlı sistemlərin müxtəlifliyinə baxmayaraq, onların aşağıdakı spesifik cizgiləri vardır və onları modellərin qurulmasında nəzərə almaq lazımdır.

1. Mürəkkəb sistemlər. Bütün bioloji sistemlər mürəkkəb çoxkomponentli, məkan strukturludurlar, onların elementləri fərdilik xüsusiyyətinə malikdir.

2. Törəyib artan sistemlər (avtoreproduksiyaya qabiliyyəti olanlar). Canlı sistemlərin bu vacib xassəsi bioloji makromolekulların, hüceyrələrin, orqanizmlərin bioloji sintezi üçün onların qeyri-üzvi və üzvi maddənin emalı qabiliyyətini təyin edir.

3. Açıq sistemlər. Onlar daima özlərinin içindən maddə və enerji buraxırlar.

4. Bioloji obyektlər mürəkkəb çoxsəviyyəli tənzimləmə sisteminə malikdir.

5. Canlı sistemlər mürəkkəb məkan strukturuna malikdir.

Yenə də biologiyada canlı sistemlərin çox böyük müxtəlifliyinə baxmayaraq, ancaq onlara aid olan aşağıdakı keyfiyyət xassələri vardır: böyümə, böyümənin öz-özünə məhdudlaşdırılması, ayrı istiqamətə dəyişiklik qabiliyyəti.

Ekologiyada riyazi modellərlə yanaşı həmçinin “bioloji modelləri”, yəni həqiqi orqanizmlərdən təşkil olunmuş ekosistemlərin modellərini də geniş tətbiq edirlər. Belə bioloji modellər olduqca faydalıdır. Onlar riyazi modellərlə həqiqi ekosistemlər arasında aralıq mövqe tutan obyektlərdən ibarətdir və həm riyazi modellər əsasında alınmış real nəticələrin yoxlanılmasını, həm də riyazi üsullarla izah oluna bilən hadisələri ortaya çıxarmaq olar. Ümumiyyətlə riyazi və bioloji modellər bir-birini tamalayır.

Ekoloji modelləşdirmənin metodoloji əsasları sistem modelləşdirmənin metodologiyası və ekosistemlərin inkişafının fundamental prinsipləri münasibətlərində yerləşir. Ekoloji pro-

seslərin və hadisələrin formalizə olunmuş və formalizə olunmamış təsvirinin vahidlik prinsipi riyazi ekoloji modelləşdirmənin universallığını, yəni, vahid metodika ilə müxtəlif cinsli və müxtəlif keyfiyyətli prosesləri əhatə etmək qabiliyyətini əks etdirir. Nəzəriyyə və praktikanın vahidliyi prinsipi əhəmiyyətlidir, ona görə ki, sosial-ekoloji modelləşdirməyə ikitərəfli yanaşmanın (ümumi konsepsiyanın qurulması və praktiki oblasta çıxış) məqsədəuyğunluğu sübut edilmişdir. Aksioloji və kulturoloji amillərin əhəmiyyətlik prinsipi ekoloji problemlərin subyekt və obyektinin təbii tamlığından irəli gəlir.

Ekologiyanın predmeti kimi təbiətin təşkilinin sistemli prinsipinin tanınması ekoloji tədqiqatların xüsusi istiqaməti kimi sistemli yanaşmanın tətbiqinin zəruriliyini şərtləndirmişdir.

Beləliklə, ekosistemlərin modellərinin qurulması vaxtı ümumsistemli təhlil üsulları tətbiq edilir. İlk növbədə bu sistemdən canlı və hərəkətsiz komponentləri, canlılar arasında – trofik səviyyələri, növləri, yaş və ya cinsi qrupları kimi ayrı-ayrı struktur komponentlərini seçməkdir və onların qarşılıqlı təsirləri bütün sistemin davranışını təyin edəcək. Digər vacib məqam hər elementin (çoxalma və böyümə prosesləri, yırtıcı tiplərinin qarşılıqlı təsirləri, rəqabət və s.) iştirak etdiyi proseslərin xarakterinin müəyyən edilməsidir.

Ekoloji sistemlərin və proseslərin riyazi modelləşdirilməsi müxtəlif xarakterli amillərin təsiri altında ətraf mühitin xarakteristikalarının kəmiyyət və keyfiyyət qiymətləndirilməsi üçün güclü vasitədən ibarətdir.

Ekologiyada riyazi modellər sistemdə elementlərin qarşılıqlı təsirləri haqqında fiziki qanunları və müxtəlif proseslərdən asılı olaraq ekoloji dəyişənlərin dinamikasının xarakteri barədə riyazi fərziyyələri ifadə edən tənliklər kombinasiyası ilə xarakterizə olunurlar. Məsələn, sututarda proseslərin riyazi modeli maye mühitin hərəkətini təsvir etmək üçün hidrodinamikanın tənliklərindən, antropogen çirklənmələrin yayılmasını və fiziki-kimyəvi transformasiyasını, həm də sututarda biotik kompo-

nentlərin dinamikası üçün mənbə-axar üzvləri olan konvektiv diffuziya tənliklərindən ibarətdir. Hidrodinamika tənlikləri xüsusi tərtibli tənliklərdən ibarətdir və su mühitinin vahid həcmində kütlənin, impulsun və enerjinin saxlanması qanunlarını ifadə edir. Populyasiyaların dinamikasının tənlikləri müxtəlif biotik komponentlərin qarşılıqlı təsirləri barədə fərziyyələrə əsaslanır.

Ekologiyada müasir riyazi modelləri üç sinifə bölmək olar. *Birinci* - təsviri modellər: təsvir olunan prosesin mexanizmini tam açmağa iddialı olmayan və empirik müəyyənləşdirilmiş kəmiyyət asılılıqlarından ibarət olan regression və s. modellər. Onlar adətən ayrı-ayrı proseslərin və asılılıqların təsviri üçün tətbiq olunur və bir fraqment kimi imitasion modellərə daxil edilir. *İkincisi* – keyfiyyət modelləridir. Onlar öyrənilən prosesin sistemin davranışında müşahidə olunan dinamik effektləri yenidən istehsal etməyə qadir olan dinamik mexanizmini aydınlaşdırmaq məqsədilə qurulur (məsələn, biokütlənin dəyişməsinin tərəddüdü xarakteri və ya məkanda qeyri-bircins strukturun əmələ gəlməsi). Adətən bu modellər çox iri deyillər və analitik və kompüter üsullarının tətbiqi ilə keyfiyyət təhlilinə məruz qala bilən modellərdir. *Üçüncüsü* – obyekt barədə bütün mövcud informasiyanı nəzərə alan konkret ekoloji və ekoloji-iqtisadi sistemlərin imitasion modelləridir. Belə modellərin qurulmasının məqsədi mürəkkəb sistemlərin davranışının detallandırılmış proqnozlaşdırılması və ya onların istismarının optimallaşdırma məsələsinin həllidir.

Mürəkkəb ekoloji sistem nə qədər yaxşı öyrənilərsə, bir o qədər də riyazi model daha tam əsaslandırılı bilər. Müşahidələr, eksperimental tədqiqatlar və riyazi modelləşdirmə arasında sıx əlaqənin olması şərtində model təcrübə məlumatları ilə və onlara əsaslanmış öyrənilən proseslərin nəzəriyyəsi arasında lazımi aralıq həlqə rolunu oynaya bilər. Təbii ki, praktiki məsələlərin həlli üçün hər üç model sinifindən istifadə etmək olar. Bu

vaxt real sistemə müvafiqliyi və belə modellərin idarə oluna bilinməsi sualları xüsusilə vacibdir.

Ekoloji proseslərin təsvirində iki yanaşmadan istifadə olunur – *deterministik və stoxastik*. Ekoloji tədqiqatlarda riyazi modelləşdirmə vaxtı əsasən deterministik modellərdən istifadə onunla özünü doğruldur ki, riyazi cəhətdən belə modellər daha rahatdır və bir çox hallarda nəzəriyyəsi və tədqiqat üsulları yaxşı işlənmiş differensial tənliklər sistemi qismində realizasiya oluna bilər.

Ekoloji məsələlərin həlli vaxtı dəyişənlərə görə həm xətti, həm də qeyri-xətti riyazi modellərdən istifadə etmək məqsədə uyğundur, belə ki, bir çox ekoloji qanunauyğunluqlar az tədqiq olunmuşdur. Nəticədə modelləşdirilən qarşılıqlı əlaqələrin çoxölçülülüyü və qeyri-xəttiliyi nəzərə alınacaq.

4.6. Ekologiyada modelləşdirmənin tətbiqi sahələri

Ekologiyada ekosistemlərin riyazi modellərini populyasiya, biosenotik və ekosistem səviyyəli modellərə bölünməsi hələ 1980-ci ildə rus alimləri V.D.Fyodorov və T.Q.Qilmanov tərəfindən təklif edilmişdir. Populyasiya modelləri ayrı-ayrı populyasiyaların xüsusiyyətlərini təsvir edir, onların xassələrini və daxili qanunauyğunluqlarını əks etdirir. Onlara nümunə kimi, doğum və ölüm amillərindən asılı olaraq populyasiyaların say dinamikasını və yaş tərkibini qiymətləndirməyə imkan verən modelləri aid etmək olar. Bu modellərdə doğum və ölüm halları ancaq populyasiyaların ümumi sıxlığının və yaş tərkibinin funksiyalarıdır.

Biosenotik səviyyə modelləri biosenozların dinamikasını əks etdirən tənliklər sistemi kimi verir və bu dinamika populyasiyaları təşkil edən sıxlıqların funksiyası kimi verilir. Ekosistem səviyyəli modellər tənliklər sistemindən ibarətdir və onun arqumentlərinin tərkibinə həm daxili dəyişən kəmiyyətlər, həm də xarici amillərin təsiri və ekosistemlərin tamlıq xassələri da-

xildir. Onlar həm də sistemin fəaliyyətində əks əlaqələrin rolunu nəzərə alır.

Ekoloji modelləşdirmədə iki əsas istiqamət seçmək olar: a) orqanizmlərin bir-biri ilə və ətraf mühitlə qarşılıqlı təsirlərinin modelləşdirilməsi ("*klassik*" *ekologiya*); b) ətraf mühitin vəziyyəti və onun mühafizəsi ilə əlaqəli olan modelləşdirmə ("*sosial*" *ekologiya*). Hər iki istiqamət böyük həcmdə işlənmiş modellərlə təqdim olunmuşdur.

Klassik ekologiyada bir neçə növün qarşılıqlı təsirlərinə baxılır: -orqanizmin və ətraf mühitin qarşılıqlı təsiri; -populyasiya daxilində fərdlərin qarşılıqlı təsiri; -müxtəlif növlərin fərdləri arasında (populyasiyalar arasında) qarşılıqlı təsirlər.

Ətraf mühitin vəziyyəti ilə əlaqəli olan modelləşdirmə (sosial ekologiya) öz növbəsində bir neçə istiqamətlərə bölünür:

- Su ekosistemlərinin modelləşdirilməsi (su ekosistemlərinin komponentlərinin transformasiyası, maddələrin əmələ gəlməsi və başqa formaya keçməsi, orqanizmlərin böyüməsi və ölümü);

- Bitkilərin məhsuldarlıq proseslərinin modelləşdirilməsi (kənd təsərrüfatı tədbirlərinin aparılması məqsədilə optimal strategiyanın seçilməsi üçün: maksimal məhsul almaq məqsədilə suvarma, gübrələrin verilməsi, optimal səpin və ya əkin tarixləri və s.);

- Meşə sistemlərinin modelləşdirilməsi (həm böyük məkan-zaman miqyasında meşələrdə baş verən prosesləri, həm də əsas obyekt kimi qəbul edilən ayrı-ayrı ağacdən ibarət olan populyasiyaların təsviri və modelləşdirilməsi üçün);

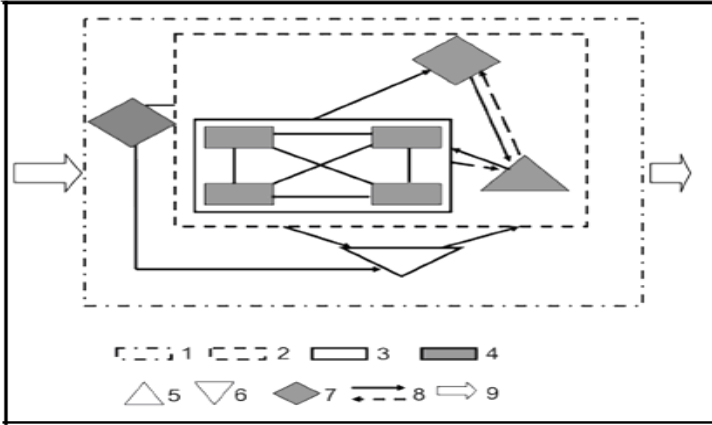
- Sənaye tullantıları ilə atmosferin və torpaq səthinin çirkləndirilməsinin modelləşdirilməsi (çirkləndirici maddələrin daşınması, əhalinin sağlamlığına, kənd təsərrüfatı sahələrinə, meşə massivlərinə, torpağa dəyən ziyanın hesablanması, ətraf mühitin bərpasına sərf olunan xərclərin hesablanması və s.);

Yer kürəsi vahid ekosistem kimi qəbul edilən global modelləşdirmə. Belə növ modelləşdirmənin ən məşhur nümunələ-

rinə “atom müharibəsi qışı” (nüvə müharibəsinin fəlakətli fəsadları) və qlobal istiləşmə modellərini aid etmək olar və s.

Modellər fəal formada və uğurla ekosistemlərin inkişafının proqnozlaşdırılmasında, GIS-texnologiyalarda, tibbi-demografik proseslərin və ya ətraf mühətdə çirkənmənin yayılmasının təsvirində, insanın təsərrüfat fəaliyyətinin optimallaşdırılmasında istifadə olunur. Bu sahədə maddi modellərdən ən geniş istifadə olunanları təbiətdən istifadənin fiziki modelləridir. Məsələn, onlar ətraf təbii mühitin dəyişməsi ilə əlaqəli olan HES-ın layihələndirilməsində istifadə oluna bilərlər. Bu vaxt ilk əvvəl, qurğuların və tikililərin kiçildilmiş modelləri qurulur, sonra onların vasitəsilə əvvəlcədən proqramlaşdırılmış təsirlər əsasında proseslər tədqiq olunur.

Təbiətdən istifadənin elmi əsasları qismində coğrafi sistemin modelindən istifadə olunur. Bu model təbiətdən istifadədə proqnozlaşdırmaq, həmçinin, digər bir komponentdən müsbət effekt almaq üçün müəyyən komponentə təsir vasitəsilə təbiətdən istifadənin idarə edilməsi üçün tətbiq edilir. Təbii coğrafiya sisteminə adətən özünü tənzimləyən sistemin təsvirini verən nisbətən sadə coğrafi model kimi baxılır. Belə bir sistemin tamlığı təbiət komponentlərinin qarşılıqlı əlaqələri ilə dəstəklənir. Daha mürəkkəb modellərə yeni element qismində insan (cəmiyyət) və qərarı qəbul edən və ona nəzarət edən idarəetmə orqanı daxil edilir. Belə inteqrə edilmiş coğrafi sistemin modeli şəkil 4.4-də təqdim olunmuşdur. Məlumdur ki, insan təbiət-coğrafiya sistemlərinə uyğunlaşmaqla bərabər, onları dəyişdirə də bilər. Belə modellərin istifadə edilməsi “insan-mühit” növlü sistemlərin öyrənilməsində tipik hal sayılır. Modelin məlumatlarından istifadə etməklə aşağıdakı zənciri izləmək olar: təbiət kompleksinə təsir \Rightarrow ətraf mühətdə dəyişmələr \Rightarrow insan fəaliyyəti üçün təbiətin dəyişməsinin fəsadları \Rightarrow fəaliyyətin optimallaşdırma istiqamətində dəyişməsi \Rightarrow ətraf mühitə göstərilən təsirlərin dəyişməsi və s.



Şəkil 4.4. İntegrə edilmiş coğrafiya sisteminin modeli:
1 – inteqrə edilmiş coğrafiya sisteminin sərhədi; 2 – təbii-texniki coğrafiya sisteminin sərhədi; 3 – təbiət coğrafiya sisteminin sərhədi; 4 – təbiət elementləri, komponentləri; 5 – texniki elementlər, alt sistemlər; 6 – əhali; 7 – qərarları qəbul və nəzarət edən idarəetmə orqanı; 8 – komponentlər, elementlər, alt sistemlər arasında əlaqə; 9 – sistemin girişində və çıxışında əlaqələr

4.7. Ekologiyada riyazi modelləşdirmənin inkişaf tarixi

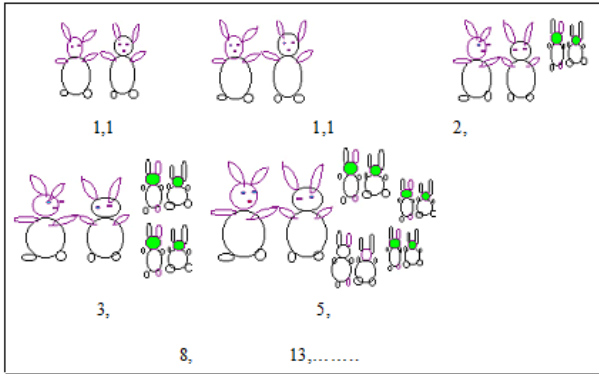
Ekologiyada riyazi məsələlərin qoyuluşu qədim dövrlərdən başlamış və ən çox populyasiya və populyasiyaların dinamikasının öyrənilməsinə həsr edilmişdir. Həm buna, həm də ekologiyada riyazi modelləşdirmənin tətbiqinin başlanmasının populyasiyalar üzərində aparılması, populyasiyaların dinamikasının riyazi modelləşdirilməsini ekologiyada riyazi aparatın istifadəsinin əsası kimi qəbul edilmişdir.

İnsan cəmiyyətinə məlum olan ilk riyazi model populyasiyaların dinamikasının öyrənilməsinə həsr olunmuş, onun barədə məlumat 1202-ci ildə tarixi qoyulmuş «Hesablama haqqında trakt» («Liber abaci») kitabında verilmişdir. Kitab isə o dövrün dahi İtaliyalı alimi Leonardo Fibonaççi (1170-1240-cı illərdə yaşadığı güman olunur) tərəfindən yazılmışdır. Bu ki-

tabda o dövr üçün xas olan hesabi və cəbri məlumatlar toplanmış, sonra isə siyahı üzrə bütün Avropa üzrə paylanmışdır. Burada aşağıdakı məsələyə baxılmışdır. “Kimsə hər tərəfdən yüksək divarla hasarlanmış məkanda ev dovşanları saxlayır. Sonra soruşulur ki, hər bir dovşan anadan olduqdan iki ay sonra bala verirsə və hər bir ayda bir dovşan cütünü dünyaya ikinci cütünü gətirirsə, onda bir il ərzində bir cüt dovşan neçə bala verəcək”. Bu məsələnin həlli müəyyən rəqəmlər sırası olacaq:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, \dots \quad (4.1)$$

(Leonardo özü bu sıranın birinci həddini buraxmışdır). Bu sıradan görünür ki, birinci iki rəqəm birinci və ikinci aydakı çoxlamaya, sonrakı 12 rəqəm isə dovşanların baş sayının aylıq artımını göstərir. Hər bir sonrakı rəqəm əvvəlki iki rəqəmin cəminə bərabərdir. (4.1) sırası tarixə Fibonaççi sırası, onun hədləri isə Fibonaççi ədədləri kimi düşmüşdür (şəkil 4.5).



Şəkil 4.5. Fibonaççi sırası

Bu, Avropada ilk məlum olan rekursiv rəqəmlər ardıcılığıdır (burada sıranın iki və daha çox hədləri arasında münasibətlər düstur formasında yazıla bilər. Fibonaççi sırasının hədləri üçün rekurrent düstur fransız riyaziyyatçısı Albert Girer tərəfindən 1634-cü ildə belə yazılmışdır:

$$U_{n+2} = U_{n+1} + U_n \quad (4.2)$$

burada U - hədlərin ardıcılığını, aşağı indekslər isə rəqəmlər sırasında onun nömrəsini göstərir.

1753-cü ildə Qlazqo şəhərindən olan riyaziyyatçı Robert Simpson fikir vermişdir ki, Fibonaççi sırasının hədlərinin sıra nömrəsi artdıqca sonrakı həddin əvvəlki həddə nisbəti “Qızıl kəsim” kimi adlanan və $1,680\dots$, və ya $(1 + \sqrt{5})/2$ bərabər olan müəyyən bir a ədədinə yaxınlaşır. XIX əsrdə Fibonaççi sırasının xassələri və onun “Qızıl kəsim”-lə əlaqəsi haqqında ətraflı şərhləri fransız riyaziyyatçısı Eduard Lukas vermişdir. O dövrdən başlayaraq təbiətşünas alimlər belə qanunauyğunluğu günəbaxan çiçəyinin ləçəklərində, iynəyarpaqlı ağacların qozalarında axçalarda və s. müşahidə etmişlər. Fibonaççi sırası və onun xassələri həm də hesablama riyaziyyatında hesablamaların xüsusi alqoritmlərinin işlənilməsi vaxtı istifadə edirlər.

Əsasında populyasiyaların say dinamikası yerləşdirilmiş ikinci ümumdünya məşhur olan riyazi model məhdudsiyyətsiz böyümənin klassik modelidir. Modeldə böyümə diskret formada həndəsi silsilə kimi ($A_{n+1} = qA_n$), fasiləsiz formada isə eksponent funksiya kimi təqdim olunmuşdur. Model tanınmış ingilis demoqrafı və iqtisadçısı Tomas Maltus (1766-1834) tərəfindən klassik əsərə çevrilmiş “Əhalinin artması haqqında” adlı öz əsərində təklif edilmişdir. O, belə bir fakta diqqət yetirmişdir ki, populyasiyanın sayı vaxt keçdikcə eksponent (həndəsi silsilə üzrə) üzrə, qida məhsullarının istehsalı isə xətti (cəbri silsilə) üzrə artır. Sonra buradan belə bir nəticəyə gəlmişdir ki, ya tez, ya da gec olaraq eksponensial artım, xətti funksiyanı ötüb keçəcək və nəticədə aclıq başlayacaq. Bu nəticələr əsasında Maltus insanların doğum hallarına, xüsusilə də ən yoxsul təbəqədə məhdudsiyyətlərin qoyulması zəruriyyətini demişdir.

Nəzəri ekolojiya sahəsində birincilərdən olan və ən tanınmış kitab A.C.Lotkanın (1880–1949, polşa mənşəli ABŞ alimi) «Fiziki biologiyanın elementləri» kitabı olmuşdur. Müasir mövqedən Lotkanın əsərinin qiymətləndirilməsi onun klassik xarakter daşdığını göstərir. Bioloji sistemlərin təşkili, təkamülü

və dinamikası haqqında ümumi təsəvvürləri inkişaf etdirərək, Lotka populyasiyaların qarşılıqlı təsirlərini təsvir edən tənlikləri (o cümlədən “yırtıcı-qurban” növlü münasibətlərlə əlaqəli olan) öz əsərində göstərmişdir. A.Lotkadan başqa, qarşılıqlı təsirdə olan populyasiyaların riyazi modellərinin işlənilməsində onun müasirləri Vito Volterra (1860-1940, italyalı alim) və V.A.Kostin da (1883 – 1963, rusiyalı alim) iştirak etmişdir. Həm A.Lotkanın, həm də V.Volterranın ilk nəşrləri XX əsrin 20-ci illərinə təsadüf edir. 1934-cü ildə isə A.Lotkanın iki cildli “Bioloji assosiasiyaların analitik nəzəriyyəsi” adlı monoqrafiyası işıq üzü görmüşdür. Müəllif burada populyasiyaların dinamikası sahəsində öz tədqiqatlarının nəticələri verilmişdir. Onun yanaşmaları, modellərin qurulması və təhlili prinsipləri V.Volterranın inkişaf etdirdiyi prinsiplərə yaxın olmuşdur. Buna görə də müasir dövrdə populyasiyaların qarşılıqlı təsirlərini təsvir edən tənliklər Lotka-Volterra tənlikləri adlanır. Bu tənliklər fenomenoloji modellərdir və müşahidə olunan əlaqələri təsvir edir. Bunlara oxşar bütün modelləri təsadüfi xarakterə malik olan proseduraların və proseslərin parametrizasiyası kimi qəbul etmək lazımdır. Həqiqətən də, yırtıcı və qurbanların qarşılıqlı təsirləri müəyyən davranış stereotipində baş verən böyük miqdarda lokal görüşlərin, lokal qarşılıqlı təsirlərin nəticəsidir. Buna görə də populyasiyaların inkişaf mexanizmini öyrənərkən müəyyən bir orta kəmiyyətlərlə hesablama əməliyyatı aparmaq lazımdır. Əməliyyatların tədqiqində qəbul edilmiş terminologiyaya görə Lotka-Volterra tənlikləri orta qiymətlər dinamikasının tənliyidir.

V.Volterra – yeni elmi istiqamətin banisidir. Onun ekoloji modellərinin dəyərliliyi ondan ibarətdir ki, riyazi ekologiyanın sürətlə inkişafının əsasını bu modellər təşkil etmişdir. “Yırtıcı-qurban” sisteminin müxtəlif modifikasiyalarının böyük miqdarda tədqiqat nəticələri ortaya çıxmış, bunlarda təbiətdə real vəziyyəti bu və ya digər dərəcədə nəzərə alan ümumi modellər qurulmuşdur. Populyasiyaların real davranışını nəzərə almağa

və həm də onun keyfiyyət təhlilini aparmağa imkan verən belə bir ümumi model rus alimi A.A.Kolmoqorov (1903 - 1987) tərəfindən 1936-cı ildə təklif edilmişdir. Sonralar rus alimi G.F.Qauzenin (1910–1986) eksperimental işləri ümumdünya şöhrəti qazanmışdır. O, öz tədqiqatlarında rəqabət kənar etmə prinsipini formalaşdırmışdır. Bu prinsipə görə eyni ekoloji tələbatları olan iki canlı növ uzun müddət ərzində eyni bir yaşayış mühitində birgə yaşaya bilməzlər. O, rəqabət mexanizmini öyrənərək ən sadə bakteriya və acıtma ilə bir sıra təcrübələr aparmışdır. Nəticədə olduqca çox mürəkkəb mənzərə alınmışdır. Belə ki, özlərinin qarşılıqlı təsirləri eyni bir növ cütlükləri üçün sabit qalmamışdır. Rəqabətin nəticəsi bəzi hallarda az qala xarici şəraitin cüzi dəyişmələrindən asılı olmuşdur.

Epidemiyaların öyrənilməsi vaxtı yaranan bioloji tarazlıqlar barədə məsələ ilə Y.Martini məşğul olmuşdur. O, immunizasiya zamanı, patogen başlanğıcla immunizasiya təsiri arasında tarazlıq bərqərar olarkən xəstəliklərin gedişini təsvir edən tənliklər almışdır. Bir sıra hallarda tarazlığın son vəziyyətinin hər iki tərəfində özünü ardıcıl epidemiya dalğaları kimi biruzə verən tərəddüdlər əmələ gəlmişdir.

1920-1940-cı illərində “ekoloji nəzəriyyənin” əsasını təşkil edən az miqdarda müxtəlif növ riyazi modellər toplusu bütün ekologiyaya aid olmamışdır. Onlar ancaq populyasion yanaşmaya – orqanizmlər məkan-zamanda paylanmasına aid olmuşdur. Ekologiyada digər əhəmə - sistemli təhlildir. Amerikalı tədqiqatçı R.Lindemanın (1915-1942) geniş şöhrət qazanmış “Ekologiyanın trofodinamik aspektləri” məqaləsinin çapını da qeyd etmək lazımdır. O, ekosistemi “məkanın və zamanın istənilən miqyaslarında baş verən fiziki-kimyəvi-bioloji proseslərin məcmusu” kimi təyin etmişdir. Ekologiyanı qısa təyin etmədə maddə və enerji dövrünün konkret xüsusiyyətlərindən asılı olaraq ekosistemlərin müxtəlif miqyaslı ayrılımları imkanlarına, funksional əsasına baxılmış, fiziki, kimyəvi, bioloji proseslərin çox sıx qarşılıqlı təsirləri qeyd olunmuşdur.

V FƏSİL. EKOLOJİ PROSESLƏRİN RİYAZİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ ÜSULLARI

5.1. *Ekologiyada statistik modelləşdirmə*

Statistik modelləşdirmənin nəzəri əsasları. Gündəlik həyatın hadisələri ədədlər və ölçmələrlə ayrılmaz əlaqəyə malikdir. Böyük miqdarda müşahidə məlumatları və ölçmə nəticələri olduqda, bu məlumatların az miqdarda göstəricilərlə əvəz edilməsi problemlərini həll etmək üçün xüsusi riyazi üsul – **statistik üsul və ya riyazi statistika üsulu** yaradılmışdır. Bir elm kimi riyazi statistika riyaziyyatın bölmələrindən biridir və ona kütləvi müşahidə məlumatlarının nəticələrinin işlənməsində tətbiq olunan riyaziyyat üsulu kimi baxmaq olar.

Bütün riyaziyyatda olduğu kimi, riyazi statistikada da istifadə olunan eyni bir düsturu çox müxtəlif obyektlərin xarakteristikalarının hesablanması üçün istifadə etmək olar. Buna görə də statistik üsullar çox geniş elm sahələrində istifadə olunur.

Statistik modellər elə bir fərz etməyə əsasən qurulur ki, tədqiq olunan proses təsadüfidir və sistemin təhlilinin statistik üsullarının köməyi ilə öyrənilə bilər. Bu üsullara daxildir: empirik və dinamik statistik üsullar, korrelyasiya və faktor təhlili, çoxölçülü şkalalaşdırma, çoxillik sıraların təhlili. Statistik modellərin ölçülərinin azaldılması üçün bir sıra üsullar istifadə edilir, məsələn, reqressiya tənliklərində və harmonik sıralarda baş komponentlərin seçilməsi.

Riyazi modelin statistik tapılmasına modelin növünün və onun parametrlərinin təyin edilməsi daxildir. Bunun belə axtarılan funksiyası həm bir asılı olmayan kəmiyyət (biramilli), həm də çoxlu kəmiyyətlərin (çoxparametrlili) funksiyası ola bilər. Modelin növünün seçilməsi məsələsi – qeyri-formal məsələdir, yəni, eyni bir asılılıq eyni bir xətlərlə ən müxtəlif analitik ifadələrlə (reqressiya tənlikləri) təsvir oluna bilər.

Modelin növünün səmərəli seçilməsi bir sıra meyarların nəzərə alınması ilə əsaslandırıla bilər. Bu meyarlara kompaktlığı (məsələn, birhədlə və ya çoxhədlə təsvir olunan), interpretasiya olunmağı (məzmunlu mənanın modelin əmsalı ilə verilməsi mümkünlüyü) və s. seçilənləri aid etmək olar. Ümumiyyətlə isə seçilmiş modelin parametrlərinin hesablanması məsələsi bir çox hallarda sırf formal xarakter daşıyır və EHM-də həyata keçirilir.

Modelləşdirilən sistemlər barədə tam olmayan informasiya olduqda statistik modelləri uğurla tətbiq etmək mümkündür. Statistik modellər modelləşdirmənin əsas üsulları olmasa da, daha mürəkkəb modellərin tərkib hissəsini təşkil etməklə, buraya təsadüfilik elementi daxil edirlər. Müəyyən sistem barədə statistik fərziyyəni formalaşdıran vaxtı müxtəlif səpgili məlumatlara (məlumatlar bazasına) malik olmaq lazımdır. Bəzi hallarda bu massiv əsassız böyük ola bilər. Bu halda sistem haqqında adekvat təsəvvür əhəmiyyətsiz olan informasiyanın çıxardılması ilə əlaqədardır. Onlara həm məlumatların siyahısı (növü), həm də məlumatların miqdarını aid etmək olar.

İnformasiyanın (o cümlədən ekoloji informasiyanın) belə sıxılmasının həyata keçirilməsi üsullarından biri faktor analizi ola bilər. Məlumatların azaldılmasını isə ən kiçik kvadratlar üsulu, baş komponent və ya klaster analizi vasitəsilə həyata keçirmək olar.

Tipik statistik model ən azı aşağıdakı suallara cavab verməlidir:

- prosesin hansı parametrləri son nəticələrin keyfiyyətini təyin edir;
- son nəticənin keyfiyyətinə təsirin əhəmiyyətliyinə görə parametrlərin sıralara bölünməsi;
- modeldə parametrlərin hamısının nəzərə alınması, modelin adekvatlığı;
- prosesi “daxili ehtiyatlar hesabına” yaxşılaşdırmaq imkanları;

• prosesin vəziyyətini proqnozlaşdırmaq və müvafiq korrektəedici və xəbərdaredici tədbirlər görmək imkanları.

Korrelyasiya və reqressiya nəzəriyyəsi. Riyazi statistikanın mərkəzi bölmələrindən biri korrelyasiya nəzəriyyəsidir və tədqiq olunan kəmiyyətlər arasında qarşılıqlı əlaqəni və qarşılıqlı asılılığı öyrənir. Bu söz latınca *correlatio* ifadəsindən götürülüb və qarşılıqlı əlaqə deməkdir.

Müxtəlif hadisələr arasında əlaqələri öyrənməklə bir çox elmlər məşğul olur. Belə ki, hər bir təbiət və cəmiyyət hadisəsi öz-özünə yaranmır, digər hadisələrlə daim qarşılıqlı əlaqədədir. Müasir elmi yanaşmada təbiətin və cəmiyyətin öyrənilməsi onların qarşılıqlı əlaqələri və fasiləsiz dəyişmələri fonunda həyata keçirilir. Bu əlaqələrin dürüst funksional asılılıqları nadir halda realizə olunur, belə ki, hər iki kəmiyyət və ya onlardan biri təsadüfi amillərin təsirinə məruz qalır. Bu halda stoxastik asılılıq ortaya çıxır. Korrelyasiya nəzəriyyəsi bu qarşılıqlı əlaqələri kəmiyyət formasında ifadə etməyə imkan verir.

Müxtəlif kəmiyyətlər arasında ən sadə əlaqə növünə funksional asılılığı aid etmək olar. Bu vaxt hər bir kəmiyyətin qiymətinə, ancaq və ancaq digər kəmiyyətin müəyyən bir qiyməti müvafiqdir. Məsələn, funksional asılılığa qazın sıxlığı (R), onun temperaturu (T) və həcmi (V) arasındakı asılılığı nümunə göstərmək olar:

$$P = R \frac{T}{V}, \quad (5.1)$$

burada R – sabit əmsaldır.

Dəyişən kəmiyyətlər arasında funksional əlaqələr riyazi analiz bölməsində öyrənilir. Onlar mexanika, fizika, astronomiya kimi elm sahələrində kəmiyyət münasibətləri üçün xarakterikdir.

Təbiətdə isə bir çox hallarda qeyri-funksional əlaqələr mövcuddur. Müəyyən bir kəmiyyətin (x) bir ədədi qiymətinə digər kəmiyyətin (y) bir neçə qiyməti müvafiqdirsə, onda belə əlaqələr və ya asılılıqlar statistik və ya korrelyasiya əlaqələri

adlanır. Beləliklə, hesab olunur ki, y kəmiyyəti x -lə korrelyasiya əlaqəsinə malikdir.

Belə hallarda baxılan kəmiyyətlərdən biri sərbəst kəmiyyət hesab olunur, **arqument** adlanır və x hərfi ilə işarə olunur, digər kəmiyyət asılı kəmiyyət qəbul edilir, **funksiya** adlanır və y hərfi ilə işarə olunur. Məsələn, əgər kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının atmosfer yağıntılarının miqdarı ilə əlaqəsi müəyyən edilirsə, onda x dəyişəni kimi atmosfer yağıntılarının miqdarını, y dəyişəni kimi isə məhsuldarlığın qiymətini götürmək lazımdır.

Korrelyasiya nəzəriyyəsinin köməyi ilə iki məsələ həll olunur.

Birinci məsələ ondan ibarətdir ki, böyük miqdarda müşahidə məlumatları əsasında bir və ya bir neçə əsas arqumentin dəyişməsi nəticəsində funksiyanın orta hesabla necə dəyişməsi xüsusiyyətlərini müəyyən etmək mümkün olsun. Bu məsələ iki və ya daha çox dəyişən kəmiyyətlər arasında əlaqələrin formalarının müəyyənləşdirilməsi və bu əlaqələrin tənliklərinin tapılması ilə həll olunur.

İkinci məsələ əsas nəzərə alınan təsir dərəcəsinin və nəticələrə mənfi təsir göstərən nəzərə alınmayan amillərin müəyyən edilməsindən ibarətdir. Bu məsələ isə baxılan kəmiyyətlər arasında əlaqənin sıxlığının müxtəlif göstəricilərinin köməyi ilə həll edilir.

Ekoloji nöqtəyi-nəzərdən təbiət obyektinin vəziyyətinin statistik modelinin qurulması üçün ilk əvvəl onun daxili dəyişmələrinə təsir edən amilləri müəyyənləşdirmək lazımdır. Əgər təbiət obyektindəki təkamül prosesləri bu obyektə müvafiq dəyişmələrə səbəb olan müəyyən bir daxili və ya xarici amillərlə şərtləndirilsə, onda bir sıra hallarda bu amillərin parametrlərinin necə dəyişməsini bilmək kifayətdir və bu əsasda obyektin vəziyyətinin dəyişməsi barədə model qurmaq mümkündür. Bu vaxt ilkin olaraq təsir edən xarici amillə model obyektində baş verən dəyişmələr arasında funksional əlaqələrin olub-olmama-

sını müəyyənləşdirmək lazımdır. Bu, korrelyasiya təhlilinin köməyi, modelləşdirmə isə reqressiya tənliklərinin köməyi ilə həyata keçirilir. Korrelyasiya təhlili iki və daha çox kəmiyyət arasında əlaqə sıxlığını göstərir.

Statistik və ya korrelyasiya əlaqəsinin tənliyinin ümumi forması aşağıdakı kimidir:

$$y = f(x). \quad (5.2)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, eksperimental müşahidə məlumatlarının statistik təhlili əsasında alınan belə əlaqələr **empirik əlaqələr, tənliklər isə empirik düsturlar** adlanır.

Əlaqələrin xəttliliyini müəyyənləşdirmək üçün ilk əvvəl bu əlaqənin qrafiki təsvirini qurmaq lazımdır. Bunun üçün x və y koordinatlarına uyğun gələn məlumat nöqtə kimi düzbucaqlı koordinat sisteminin qrafik sahəsinə köçürülməlidir. Əlaqənin belə qrafiki təsviri əlaqə formasını müəyyənləşdirməkdən başqa, əlaqənin sıxlığını da təyin etməyə imkan verir.

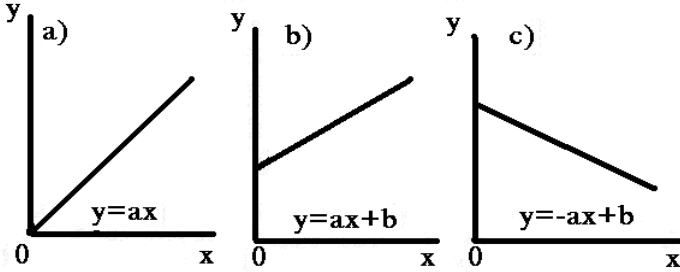
Empirik düsturların tapılması üçün müxtəlif üsullar mövcuddur, lakin bu düsturlardan istifadə edərək alınan nəticələr müxtəlif dərəcədə təqribi olur. Korrelyasiya əlaqələri arasında ən geniş yayılan forma xətti korrelyasiya əlaqələridir. Onlar həm də ən çox öyrənilmiş əlaqələrdir. Lakin bir çox hallarda baxılan kəmiyyətlər arasında qeyri-xətti əlaqələr də müşahidə olunur. Statistik əlaqələrin formalarını seçmək üçün ən sadə əlaqə formalarını və onları ifadə edən tənliklərin növlərini yaxşı bilmək lazımdır. Bu tənliklərin seçilməsi vaxtı əksər hallarda aşağıdakı əlaqə növlərinə və onların düsturlarına rast gəlmək mümkündür (şəkil 5.1).

a) Koordinat sisteminin başlanğıcından keçən düz xətt. Onun tənliyi $y=ax$ formasındadır. Burada belə hesab olunur ki, $a>0$ (şəkil 5.1a).

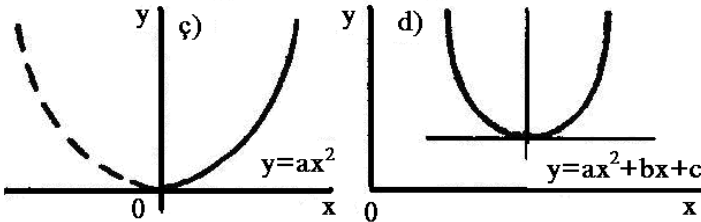
b) və c) Koordinat sisteminin başlanğıcından keçməyən ayrılır. Onların tənlikləri belədir: $y=ax+b$ (**b**); $y= - ax+b$ (**c**) (şəkil 5.1b və 5.1c).

ç) zirvəsi koordinat oxunun başlanğıcında yerləşən və

koordinat oxlarından birinə simmetrik olan parabola. Onun tənliyi $y=ax^2$ kimidir (şəkil 5.1.ç).



Şəkil 5.1 a, b, c. Dəyişən kəmiyyətlər arasındakı müxtəlif əlaqələrin əsas qrafikləri və onların tənlikləri



Şəkil 5.1 ç, d. Dəyişən kəmiyyətlər arasındakı müxtəlif əlaqələrin əsas qrafikləri və onların tənlikləri

d) y oxuna paralel xəttə simmetrik olan parabola, onun tənliyi belədir: $y=ax^2+bx+c$. Funksiya kvadratıdır (şəkil 5.1d).

e) y oxuna paralel xəttə simmetrik olan parabola, onun tənliyi belədir: $y=-ax^2+bx+c$. Funksiya kvadratıdır (şəkil 5.1e).

ə) koordinat oxlarına asimptotik yaxınlaşan hiperbola, tənliyi belədir $y = \frac{c}{x}$ (şəkil 5.1ə).

f) koordinat oxlarına paralel olan oxlara asimptotik yaxınlaşan hiperbola tənliyi belədir $y = \frac{c}{x-a} + b$ (şəkil 5.1f).

g) Üst dərəcəli əyri, tənliyi belədir $y=ax^m$.

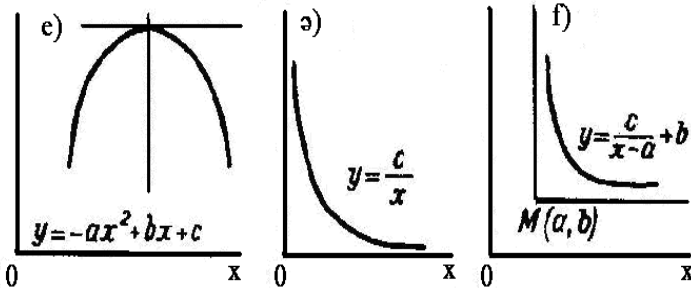
h) Üst dərəcəli əyri, tənliyi belədir $y = \frac{a}{x^m}$.

x) Tənliyi $y=a^x$ olan əyri.

Dəyişən kəmiyyətlər arasında əlaqələrin forması müəy-yənləşdirildikdən, qrafik əyriləri və əlaqə tənliyinin növü seçil-dikdən sonra baxılan əlaqə tənliyinin parametrlərinin hesablan-masına və bu əlaqələrin sıxlıq dərəcəsinin təyininə başlamaq olar.

Adətən statistik və ya reqressiya tənliklərindəki aralarında əlaqələr axtarılan dəyişən kəmiyyətlər latın əlifbasının axırncı hərfləri ilə (x, y, z, u, v), tənliklərin parametrləri isə bu əlifbanın birinci hərfləri ilə işarə olunur: **a, b, c, d** və s.

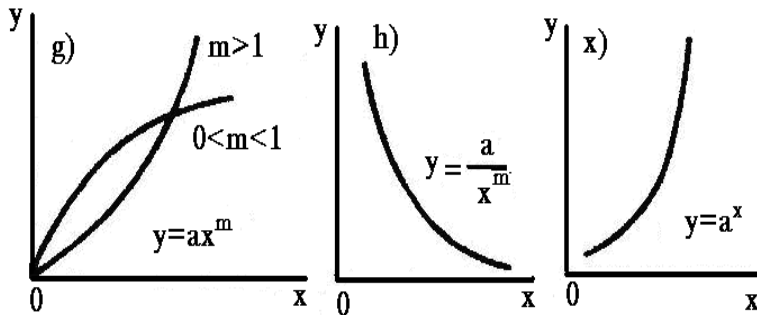
Müxtəlif hadisələr arasında əlaqələrin tədqiqində bir çox hallarda bir dəyişən kəmiyyətə bir neçə digərinin təsiri də mövcud olur. Bunlara nümunə kimi, üç, dörd və daha çox də-yişən kəmiyyətləri göstərmək olar.



Şəkil 5.1 e, ə, f. Dəyişən kəmiyyətlər arasındakı müxtəlif əlaqələrin əsas qrafikləri və onların tənlikləri

İki dəyişən kəmiyyətin xətti reqressiya modeli. Əgər $y = f(x)$ reqressiya funksiyası xəttidirsə, onda x və y dəyişən kəmiyyətləri arasındakı korrelyasiya əlaqəsi xətti korrelyasiya adlanır. Bu halda qrafiki təsvirdə bu xətt düz xəttidir, reqres-siyanın düz xətti adlanır və aşağıdakı reqressiya tənliyi ilə ifadə olunur:

$$y = a \cdot x + b, \quad (5.3)$$



Şəkil 5.1 g, h, x. Dəyişən kəmiyyətlər arasındakı müxtəlif əlaqələrin əsas qrafikləri və onların tənlikləri

burada y – modelləşdirilən hadisənin kəmiyyətə qiyməti; x – modelləşdirilən kəmiyyətə təsir göstərən amilin kəmiyyətə qiyməti; a və b modelin parametrləridir.

Burada əsas məsələ modelin a və b parametrlərinin hesablanmasıdır. Onları iki qayda ilə hesablamaq olar.

Birinci qayda. Analitik həndəsədən məlumdur ki, əgər düz xətlər koordinatları \bar{x} və \bar{y} olan müəyyən bir nöqtədən keçərsə, onda reqressiyanın bu düz xəttinin tənliyi aşağıdakı kimi yazılacaq:

$$y - \bar{y} = a \cdot (x - \bar{x}), \quad (5.4)$$

a əmsalı belə hesablanır:

$$a = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (5.5)$$

burada \bar{x} - sərbəst dəyişən kəmiyyətin orta qiyməti; \bar{y} - asılı olan kəmiyyətin orta qiyməti; r - korrelyasiya əmsalı; σ_y və σ_x - müvafiq olaraq asılı olan və sərbəst dəyişənlər sıralarının orta kvadratik meyletmə əmsalları müvafiq olaraq (5.6) və (5.7) düsturularının köməyi ilə hesablanır:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (5.6)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (5.7)$$

burada n – modelin qurulmasında istifadə olunan məlumatlar sırasının uzunluğunun sayıdır.

Orta kvadratik meyletmə kəmiyyəti korrelyasiya praktikasına ilə bərabər, həm də alınan nəticələrin əhəmiyyətlik dərəcəsinin yoxlanılmasında və s. geniş istifadə olunur.

İkinci qayda. a və b əmsalları aşağıdakı qaydada hesablanır:

$$a = \frac{\sum x \cdot y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad (5.8)$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - a \frac{\sum x}{n} \quad (5.9)$$

Korrelyasiya əmsalı dəyişən kəmiyyətlər arasındakı əlaqələrin sıxlıq dərəcəsini göstərir, ölçüsüz kəmiyyətdir və $-1 \leq r \leq +1$ intervalında dəyişir. Bu əmsal aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$r = \frac{\sum (\Delta x \cdot \Delta y)}{\sqrt{\Delta x^2 \cdot \Delta y^2}}, \quad (5.10)$$

burada $\Delta x = x - \bar{x}$, $\Delta y = y - \bar{y}$, $\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$, $\bar{y} = \frac{\sum Y}{n}$,

$$\sum \Delta x^2 = \frac{\sum X^2 - (\sum X)^2}{n}, \quad \sum \Delta y^2 = \frac{\sum Y^2 - (\sum Y)^2}{n},$$

$$\sum (\Delta x \cdot \Delta y) = \frac{\sum XY - (\sum X \cdot \sum Y)}{n}.$$

Korrelyasiya əmsallarının aşağıdakı əsas xassələri vardır:

1) baxılan kəmiyyətlər arasında xətti funksional əlaqə olduqda, $r = \pm 1$;

2) r əmsalı nə qədər mütləq 1-ə yaxınlaşarsa, düzxətli korrelyasiya əlaqəsi bir o qədər sıx olacaq;

3) $r = 0$ olduqda, onda xətti korrelyasiya əlaqəsi yoxdur.

4) praktikada qəbul edilmişdir ki, $r > |0,7|$ olduqda, alınan əlaqələr lazımi səviyyədə sıxdır və onları istifadə etmək olar.

Hesablama nümunəsi: Ən kiçik kvadratlar üsulu ilə baxılan dövrün sonuna sudan istifadə göstəricisinin proqnostik qiymətinin hesablanması. *Ən kiçik kvadratlar üsulu* - ən geniş yayılan üsullardan biridir. Bu onun sadəliyi, düzgün istifadəsində isə nisbətən yüksək dəqiqliyi ilə izah olunur. O, proqnozdan əvvəlki dövrdə proqnozlaşdırılan obyektəki dəyişikliklərin təhlilinə əsaslanmışdır. Proqnozlaşdırılan hadisənin axtarılan qiyməti belə hesablanır: $y = a \cdot x + b$, burada x – baza dövrünün 1-ci ilindən proqnozun neçə il qabağa verilməsi vaxtını göstərir. a və b əmsalları belə hesablanır:

$$a = \frac{\sum x \cdot y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}, \quad (5.11)$$

$$b = \frac{\sum y}{n} - a \frac{\sum x}{n}, \quad (5.12)$$

burada n – baza dövründə tarixlərin sayıdır.

Proqnozun hazırlanması üçün köməkçi cədvəl tərtib etmək lazımdır (cədvəl 5.1).

Cədvəl 5.1-dəki yekun sətirindəki rəqəmləri (5.11) və (5.12) düsturlarında yerinə qoymaqla a və b əmsalları aşağıdakı kimi hesablanır.

Cədvəl 5.1

Proqnozun hazırlanması üçün köməkçi cədvəl

İllər	<i>Su istehlakı Y, l/(adam·sutka)</i>	X	XY	X ²	n
1923	171	1	171	1	1
1927	182	5	910	25	2
1932	211	10	2110	100	3
1950	224	28	6272	784	4
1955	208	33	6864	1089	5
1960	210	38	7980	1444	6
1970	229	48	10992	2304	7
1980	231	58	13398	3364	8
1990	237	68	16116	4624	9
1994	239	72	17208	5184	10
Yekun	∑2142	∑361	∑82021	∑18876	

$$a = \frac{82021 - \frac{2142 \cdot 361}{10}}{18867 - \frac{361 \cdot 361}{10}} = 0.8; \quad b = \frac{2142}{10} - 0.8 \frac{361}{10} = 187.6.$$

Təbiət obyektlərinin vəziyyətinin korrelyasiya və reqressiya təhlili əsasında proqnozunun statistik modeli.

Korrelyasiya və reqressiya göstəricilərindən təbiətdən istifadənin proqnozlaşdırılmasında uğurla istifadə etmək olar. Məsələn, əgər sututarlardakı suda azot birləşmələrinin miqdarından asılı olaraq onların evtrofikasiya dərəcəsi haqqında məlumatlar varsa, onda onun gələcəkdə vəziyyətinin dəyişməsi haqqında proqnoz hazırlamaq olar.

İndi isə su obyektinin vəziyyətini qiymətləndirmək üçün korrelyasiya və reqressiya təhlilinin istifadəsi nümunəsinə baxaq. Tutaq ki, hesablama nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, 10 ildən sonra suda azot birləşmələrinin miqdarı 85 mq/litr artacaq. Bu dövr üçün suda evtrofikasiya (göy-yaşıl yosunların miqdarı) dərəcəsinin dəyişməsi proqnozunu vermək lazımdır. Əvvəlki dövr üçün hər iki göstərici barədə məlumat cədvəl 5.2-də verilmişdir.

Cədvəl 5.2

Sututarin evtrofikasiya dərəcəsinin proqnozu üçün başlanğıc məlumatlar.

İllərin sıra nömrəsi	Azot birləşmələrinin miqdarı (X), mq/l	Göy-yaşıl yosunların miqdarı (Y), q/m ³
1	19.9	0.1
2	20.9	0.6
3	26.1	1.0
4	29.4	1.1
5	55.6	4.8
6	58.3	5.8
7	64.5	6.3
8	76.6	7.3

İlk əvvəl köməkçi kəmiyyətlər hesablanır və onlar köməkçi cədvəldə yazılır (cədvəl 5.3). Köməkçi cədvəl (cədvəl 5.3) tərtib olunduqdan sonra (5.4) düsturuna daxil olan X və Y sıralarının orta qiymətlərini (\bar{x} və \bar{y}), (5.10) düsturuna daxil olan $\Delta x = x - \bar{x}$, $\Delta y = y - \bar{y}$, $\sum \Delta x^2$, $\sum \Delta y^2$, $\sum (\Delta x \cdot \Delta y)$ qiymətlərini hesablayaq:

Cədvəl 5.3

X -ə görə Y -in korrelyasiya və reqressiya əmsallarını hesablamaq üçün köməkçi cədvəl ($n=8$).

İllərin sıra nömrəsi	Parametrlərin qiymətləri		X^2	Y^2	XY
	X, mq/l	Y, q/m ³			
1	19.9	0.1	396.0	0.01	1.99
2	20.9	0.6	436.8	0.36	12.54
3	26.1	1.0	681.2	1.00	26.10
4	29.4	1.1	864.4	1.21	32.34
5	55.6	4.8	3091.4	23.04	266.88
6	58.3	5.8	3398.9	33.64	338.14
7	64.5	6.3	4160.2	39.69	406.35
8	76.6	7.3	5867.6	53.29	559.18
Yekun	$\sum X = 351.3$	$\sum Y = 27.0$	$\sum X^2 = 18896.4$	$\sum Y^2 = 152.2$	$\sum XY = 1643.5$

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n} = \frac{351.3}{8} = 43.9 \text{ mq/l.};$$

$$\bar{y} = \frac{\sum Y}{n} = \frac{27.8}{8} = 3.37 \text{ q/m}^3.;$$

$$\sum \Delta x^2 = \frac{\sum X^2 - (\sum X)^2}{n} = \frac{18896,4 - (351,3)^2}{8} = 3469,99.$$

$$\sum \Delta y^2 = \frac{\sum Y^2 - (\sum Y)^2}{n} = \frac{152,24 - (27,0)^2}{8} = 61,12.$$

$$\sum (\Delta x \cdot \Delta y) = \frac{\sum XY - (\sum X \cdot \sum Y)}{n} = \frac{1643,52 - (351,3 \cdot 27,0)}{8} = 457,88.$$

Korrelyasiya əmsalı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$r = \frac{\sum (\Delta x \cdot \Delta y)}{\sqrt{\Delta x^2 \cdot \Delta y^2}} = \frac{457,88}{\sqrt{3469,99 \cdot 61,12}} = 0,99.$$

(5.4) ifadəsindəki a əmsalını hesablamaq üçün σ_x və σ_y kəmiyyətlərini müvafiq olaraq (5.6) və (5.7) ifadələrinə görə hesablayaq:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{3469,99}{8}} = 20,83.$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} = \sqrt{\frac{61,12}{8}} = 2,76.$$

σ_x , σ_y və r -in qiymətlərini (5.5) düsturunda yerinə qoyaq:

$$a = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0.99 \frac{2.76}{20.83} = 0.13 \text{ q/m}^3.$$

Regressiya tənliyi isə (5.4) düsturuna görə belə təyin olunur:

$$\begin{aligned} y - \bar{y} &= a \cdot (x - \bar{x}) \\ y - 3.37 &= 0.13(x - 43.9) \\ y &= 0.13 \cdot x - 5.71 + 3.37 \\ y &= 0.13 \cdot x - 2.34. \end{aligned}$$

Aparılmış hazırlıq işlərindən sonra proqnozlaşdırılmaya keçmək olar. Bunu iki qayda ilə aparmaq mümkündür. Birinci qaydaya görə alınmış regressiya tənliyində x -in yerinə konkret ədədi qiymət qoyulur. Bizim halda bu 10 ildən sonra suda olan azot birləşmələrinin miqdarıdır və 85,0 mq/l-ə bərabərdir. 10 ildən sonra: $Y = 0.13 \cdot x - 2.34 = (0.13 \cdot 85.0) - 2.34 = 11.05 - 2.34 = 8.71 \text{ q/m}^3$ olacaq. İkinci qayda daha sadə, lakin daha az dəqiqliyə malikdir. Onun tətbiqi vaxtı koordinat oxunda əvvəlki dövrü əhatə edən x və y -in qiymətlərinə müvafiq nöqtələr qoyulur. Sonra, bütün qeyd olunmuş nöqtələr üzrə onlara maksimal yaxınlaşmış düz xətt çəkilir. Sonra bu xətt və koordinat oxları xəyali uzadılır. Xəyali uzadılma nöqtəsindən sonra x -ə müəyyən qiymət verilir, oradan xəyali oxa, kəsişmə nöqtəsindən isə y oxuna perpendikulyar çəkilir, kəsişmə nöqtəsindəki qiymət axtardığımız proqnostik qiymət olacaq.

Üç dəyişən kəmiyyətin xətti regressiya modeli. Üç dəyişən kəmiyyət halında z dəyişən kəmiyyəti başlıca olaraq digər x və y iki sərbəst dəyişəndən asılıdır. Bu halda üç kəmiyyət arasında asılılığın xətti çoxölçülü regressiya tənliyi belə yazılacaq:

$$z = a \cdot x + b \cdot y + c, \quad (5.13)$$

burada a , b , c – sabit ədədlərdir, bu tənliyin parametrləridir və onların təyin olunması lazımdır.

(5.13) tənliyinin parametrlərini iki qayda ilə təyin etmək olar: 1) verilən dəyişən kəmiyyətlərin korrelyasiya əmsalları

vasitəsilə; 2) ən kiçik kvadratlar üsulu ilə.

Birinci qaydaya görə (5.13) xətti tənliyini belə formada yazmaq olar:

$$z - \bar{z} = a(x - \bar{x}) + b(y - \bar{y}), \quad (5.14)$$

burada \bar{z} , \bar{x} və \bar{y} - z , x və y kəmiyyətlərinin orta qiymətləridir.

Bu üç kəmiyyət arasında əlaqənin sıxlıq dərəcəsini təyin etmək üçün ümumi korrelyasiya əmsalı hesablanır:

$$R = \sqrt{\frac{r_{zx}^2 + r_{zy}^2 - 2r_{zx}r_{zy}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}}, \quad (5.15)$$

burada r_{zx} , r_{zy} və r_{xy} - cüt korrelyasiya əmsallarıdır.

Hər bir amilin funksiya təsirini ayrılıqda qiymətləndirmək və ümumi korrelyasiya əmsalını təyin etmək üçün r_{zx} , r_{zy} və r_{xy} əmsalları aşağıdakı kimi hesablanır:

$$r_{zx} = \frac{\sum(\Delta x \cdot \Delta z)}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta z^2}}, \quad (5.16)$$

$$r_{zy} = \frac{\sum(\Delta y \cdot \Delta z)}{\sqrt{\sum \Delta y^2 \cdot \sum \Delta z^2}}, \quad (5.17)$$

$$r_{xy} = \frac{\sum(\Delta x \cdot \Delta y)}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}}, \quad (5.18)$$

burada $\Delta x = x_i - \bar{x}$; $\Delta y = y_i - \bar{y}$; $\Delta z = z_i - \bar{z}$

Ümumi korrelyasiya əmsalının R aşağıdakı xassələri var:

1. R -in qiyməti həmişə müsbətdir və 0-dan 1-ə qədər dəyişir;

2. Əgər $R = 0$, onda z kəmiyyəti x və y –lə xətti asılılığa malik deyil.

3. Əgər $R = 1$, onda z kəmiyyəti x və y -lə xətti korrelyasiya əlaqəsinə malikdir.

4. R -in qiyməti 0 -dan 1 -ə yaxınlaşdıqca z kəmiyyəti ilə x və y kəmiyyətləri arasında xətti əlaqənin sıxlığı artır.

(5.16)-(5.18)-də verilmiş hər bir cüt korrelyasiya əmsalı şərti olaraq üçüncü kəmiyyətin sabit qalması halında, digər iki kəmiyyət arasında xətti əlaqələrin sıxlığını göstərir.

r_{zx} , r_{zy} , r_{xy} cüt korrelyasiya və ümumi korrelyasiya R əmsalları təyin etdikdən və tədqiq olunan kəmiyyətlər arasında lazımı qədər yüksək əlaqələrin mövcudluğuna əmin olduqdan sonra, (5.14) tənliyindəki a , b və c parametrlərinin təyininə keçmək olar. a və b parametrlərinin hesablanması düsturları aşağıdakılardır:

$$a = \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \cdot \frac{r_{zx} - r_{zy} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}, \quad (5.19)$$

$$b = \frac{\sigma_z}{\sigma_y} \cdot \frac{r_{zy} - r_{zx} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}, \quad (5.20)$$

burada σ_z , σ_x , σ_y – müvafiq olaraq z , x və y dəyişənlərinin orta kvadratik meylətmə əmsallarıdır və (5.6) növlü düsturun köməyi ilə hesablanır.

a və b parametrlərinin qiymətlərini (5.12) düsturunda yerinə qoymaqla, həm c parametrlərinin qiymətlərini tapmaq, həm axtarılan reqressiya tənliyini almaq olar.

Üç dəyişən kəmiyyətin reqressiya tənliyinin ortakkvadratik xətasını aşağıdakı düsturla hesablayırlar:

$$S_z = \pm \sigma_z \sqrt{\frac{1 - r_{zx}^2 - r_{zy}^2 - r_{xy}^2 + 2r_{zx}r_{zy}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}}. \quad (5.21)$$

Buradan görüldüyü kimi artıq üç dəyişən kəmiyyət arasında korrelyasiya əlaqələrini müəyyənləşdirərkən hesablamaların həcmi artır və dörd və daha çox dəyişən kəmiyyətlər ara-

sındakı əlaqələrin tapılması zamanı bu həcm daha çox böyük olacaqdır.

Bütün bunlar nəzərə alınaraq, axtarılan kəmiyyətlə hər bir təsir edən kəmiyyət arasında xüsusi korrelyasiya əmsalları hesablanır. Sonra daha yüksək korrelyasiya əmsalları olan kəmiyyətlər hesablamalara cəlb edilir, digərləri isə nəzərə alınmır.

Burada üç dəyişən kəmiyyət arasında xətti əlaqənin tənliyinin alınması nümunəsinə baxmaq metodoloji nöqteyi - nəzərdən məqsədəuyğundur. Nümunə kimi, Azərbaycan ərazisində payızlıq dənli bitkilərin səpildiyi oktyabr ayında şumluq torpaq qatında rütubət ehtiyatlarının oktyabr və sentyabr aylarında müşahidə olunmuş atmosfer yağıntılarının miqdarından asılılığının reqressiya tənliyini tapaq və ya bu asılılığın statistik modelini quraq. Tutaq ki, əlaqə tənliyi (5.12) formasındadır: $z=ax+by+c$, burada z – oktyabr ayında torpağın 0-20 sm-lik qatında məhsuldar rütubət ehtiyatlarının orta qiyməti, mm; x – oktyabr ayında yağmış atmosfer yağıntılarının miqdarı, mm; y – sentyabr ayında yağmış atmosfer yağıntılarının miqdarı, mm. Hesablamalarda $n=52$ ilin məlumatlarından istifadə olunmuşdur.

Tənliyin məchul a , b və c hədlərinin və ümumi korrelyasiya əmsalının R qiymətlərini tapmaq üçün müvafiq hesablamalar aparmaq məqsədilə cədvəl 5.3-ə analoji xüsusi cədvəl qurmaq olar. Məlumatlar təhlil edildikdən sonra, torpaq rütubətliyi (z), oktyabr ayında yağmış atmosfer yağıntılarının miqdarı (x) və sentyabr ayında yağmış atmosfer yağıntılarının miqdarını (y) cədvəlin müvafiq xanalarında yazıb, onların orta qiymətlərini aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$\bar{z} = \frac{\sum z}{n} = \frac{1352}{52} = 26.0; \quad \bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{2496}{52} = 48.0;$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{2964}{52} = 57.0.$$

Baxılan hər bir kəmiyyətin orta qiymətlərindən meylətmələrini təyin etdikdən sonra

$$\sum(\Delta z \cdot \Delta x), \sum(\Delta z \cdot \Delta y), \sum(\Delta x \cdot \Delta y), \\ \sum \Delta z^2 \cdot \sum \Delta x^2, \sum \Delta z^2 \cdot \sum \Delta y^2, \sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2$$

hasillərinin qiymətləri hesablanır. Məsələn, hesablamalar nəticəsində onların aşağıdakı ədədi qiymətləri alınmışdır:

$$\sum(\Delta z \cdot \Delta x) = 13695, \quad \sum(\Delta z \cdot \Delta y) = 15208, \quad \sum(\Delta x \cdot \Delta y) = 20023, \\ \sum \Delta z^2 = 8970, \quad \sum \Delta x^2 = 30298, \quad \sum \Delta y^2 = 51274.$$

Alınmış qiymətləri (5.16)-(5.18) düsturlarında yerinə qoymaqla, cüt korrelyasiya əmsallarını hesablamaq olar:

$$r_{zx} = \frac{\sum(\Delta x \cdot \Delta z)}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta z^2}} = \frac{13695}{\sqrt{30298 \cdot 8970}} = 0,84, \\ r_{zy} = \frac{\sum(\Delta y \cdot \Delta z)}{\sqrt{\sum \Delta y^2 \cdot \sum \Delta z^2}} = \frac{15208}{\sqrt{51274 \cdot 8970}} = 0,71, \\ r_{xy} = \frac{\sum(\Delta x \cdot \Delta y)}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \frac{20023}{\sqrt{30298 \cdot 51274}} = 0,51.$$

(5.15) düsturuna görə cəm korrelyasiya əmsalı hesablanır:

$$R = \sqrt{\frac{r_{zx}^2 + r_{zy}^2 - 2r_{zx}r_{zy}r_{xy}}{1 - r_{xy}^2}} = \sqrt{\frac{(0,84)^2 + (0,71)^2 - 2 \cdot (0,84 \cdot 0,71 \cdot 0,51)}{1 - (0,51)^2}} = 0,90.$$

Göründüyü kimi, cəm korrelyasiya əmsalının qiyməti çox yüksəkdir və a , b və c əmsallarının qiymətlərini müəyyənləşdirmək üçün işləri davam etdirmək olar. Bunun üçün (5.6) düsturuna analogi olaraq x , y və z sıralarının orta kvadratik meylətmə əmsallarını müəyyənləşdirək:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum \Delta z^2}{n}} = \sqrt{\frac{8790}{52}} = 13,00, \\ \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum \Delta x^2}{n}} = \sqrt{\frac{30298}{52}} = 24,14,$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum \Delta y^2}{n}} = \sqrt{\frac{51274}{52}} = 31,4.$$

(5.19) və (5.20) düsturlarından istifadə edib a və b əmsallarını təyin edək:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sigma_z}{\sigma_x} \cdot \frac{r_{zx} - r_{zy} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} = \frac{13,0}{24,14} \cdot \frac{0,84 - 0,71 \cdot 0,51}{1 - (0,51)^2} = \\ &= 0,54 \cdot \frac{0,48}{0,74} = 0,54 \cdot 0,65 = 0,351, \\ b &= \frac{\sigma_z}{\sigma_y} \cdot \frac{r_{zy} - r_{zx} \cdot r_{xy}}{1 - r_{xy}^2} = \frac{13,0}{31,4} \cdot \frac{0,71 - 0,84 \cdot 0,51}{1 - (0,51)^2} = \\ &= 0,41 \cdot \frac{0,28}{0,74} = 0,41 \cdot 0,38 = 0,16 \end{aligned}$$

Son nəticədə a və b əmsallarının və \bar{z} , \bar{x} , \bar{y} qiymətlərini (5.14) düsturunda yerinə qoymaqla, c əmsalının qiymətini və ümumilikdə axtarılan tənliyi almaq olar:

$$\begin{aligned} z - 26,0 &= 0,351 \cdot (x - 48,0) + 0,16 \cdot (y - 57,0) \\ \text{və ya } z &= 0,35x + 0,16y + 0,1. \end{aligned}$$

Statistik modellərin parametrlərinin ən kiçik kvadratlar üsulu ilə təyin edilməsi. Düzxətli tənliyin a və b əmsallarının müəyyən edilməsi üçün ən geniş istifadə olunan üsullardan biri ən kiçik kvadratlar üsuludur və Lejandr-Hauss tərəfindən təklif olunmuşdur. Bu onun sadəliyi, düzgün istifadəsində isə nisbətən yüksək dəqiqliyi ilə izah olunur.

Bu üsulu həm də təbiətdən istifadənin müxtəlif məsələlərinin proqnozlaşdırılmasında da istifadə etmək olar. Belə ki, o, proqnozdan əvvəlki dövrdə proqnozlaşdırılan obyektəki dəyişikliklərin təhlilinə əsaslanmışdır.

Bu üsula konkret nümunə üzərində baxaq. Tutaq ki, x və y kəmiyyətləri verilmişdir. Onlar üçün eksperiment cədvəli tərtib edək (cədvəl 5.5).

Cədvəl 5.5

Eksperimentlər cədvəli

x	x_1	x_2	x_3	x_n
y	y_1	y_2	y_3	y_n

Bu iki kəmiyyət aşağıdakı müxtəlif düsturlarla təyin edilən asılılıqla əlaqəli ola bilər:

- a) xətti: $y=ax+b$ ($y=kx$);
 - b) kvadratik: $y=ax^2+bx+c$;
 - c) kubik: $y=ax^3+bx^2+cx+d$ və s.
- a (və ya k), b , c , d və s. əmsalların tapılması tələb olunur.

Ən kiçik kvadratlar üsulunun əsasında aşağıdakı prinsip yerləşir. a və b əmsallarının axtarılan qiymətləri elə qiymətlərdir

ki, onların istifadəsi vaxtı $\sigma = \sum_{i=1}^n (z_i - y_i)^2$ fərqlərin kvadratı

cəmi ən kiçik olsun, belə ki, $\sigma=f(a,b)$. Buna görə də a və b -ni aşağıdakı tənliklər sistemindən tapırlar. Bu tənliklər normal tənliklər adlanır:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \sigma}{\partial a} = 0; \\ \frac{\partial \sigma}{\partial b} = 0. \end{array} \right. \quad (5.22)$$

Beləliklə, $y=ax+b$ xətti asılılığı üçün $\sigma = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2$ yazmaqla, aşağıdakı tənliklər sistemini almaq olar:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma}{\partial a} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2 \cdot x_i = 0 \\ \frac{\partial \sigma}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2 \cdot 1 = 0 \end{cases} \quad (5.23)$$

(5.22)-i belə formada yazmaq olar:

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \\ a \cdot \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n b = \sum_{i=1}^n y_i \end{cases} \quad (5.24)$$

Sonra bu sistemin 1-ci tənliyindən a -nı taparaq, onu 2-ci tənlikdə yerinə qoyuruq, sonra isə b -ni tapırıq. Sonra b -nin tapılmış qiymətini 1-ci tənlikdə yerinə qoyaraq a -nı tapırıq.

Yuxarıda göstəriləyi kimi, iki kəmiyyət arasında axtarılan düzxətli korrelyasiya əlaqələri ən sadə əlaqə formalarına aiddir. Lakin, bir çox hallarda baxılan kəmiyyətlər arasında əlaqələr daha mürəkkəb xarakterə malikdir və qrafik təsvir üzərində əyrixətli əlaqəni göstərilər. Bir sıra hallarda korrelyasiya əlaqələri tədqiq edilərkən, qrafikə köçürülmüş nöqtələr müəyyən bir parabolanın yaxınlığında yerləşirlər. Deməli, belə hallarda empirik düsturu aşağıdakı formada axtarmaq lazımdır:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c \quad (5.25)$$

Bu iki tərtibli paraboladır. Bu tənliyi ən kiçik kvadratlar üsulu ilə həll etmək daha asandır. Belə ki, bu üsul (5.25) parabolasının a , b və c əmsallarını aşağıdakı normal tənliklər sisteminin köməyi ilə həll etməyə imkan verir:

$$\left. \begin{aligned} cn + b \sum_{i=1}^n x_i + a \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i \\ c \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 + a \sum_{i=1}^n x_i^3 &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ c \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \sum_{i=1}^n x_i^3 + a \sum_{i=1}^n x_i^4 &= \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i \end{aligned} \right\} \quad (5.26)$$

x və y dəyişən kəmiyyətləri arasında qeyri-xətti əlaqə olduqda korrelyasiya əmsalının köməyi ilə əlaqələrin sıxlıq məsələsini həll etmək mümkün deyil. Bunun üçün korrelyasiya nisbəti η hesablanır. x və y dəyişənləri arasında istənilən formanın əlaqə sıxlığı göstəricisi kimi, bu göstərici universaldır və buna görə korrelyasiya əmsalından üstündür. Düzxətli əlaqə mövcud olduqda korrelyasiya nisbəti korrelyasiya əmsalına keçir.

5.2. Ekologiyada dinamik modeləşdirmə

Modelləşdirilən ekoloji proseslərin diapazonu və miqyası həddən artıq böyükdür və global ekologiyadan tutmuş biose- nozların ayrı-ayrı komponentlərinin dinamikasının proqnozuna qədər olan məsələləri əhatə edir. Buna görə də ekoloji model- lərin təsnifatında müxtəlif yanaşmalar istifadə olunur. Ən çox istifadə olunan isə dinamik modeləşdirmədir və onun əsasında sistemin parametrlərinin empirik yolla təyin olunan adi və xüsusi tərtibli differensial tənliklərinin köməyi ilə təsviridir.

Dinamik modellərə diffuzion, balans və digər modellər aiddir.

«Diffuzion» modellər daşınma (diffuziya) tənliklər apa- ratını istifadə edir və nisbətən homogen və ona yaxın mühitlərdə maddə və enerji axınlarının hesablanması vaxtı tətbiq edilir. Məsələn, torpaqşünaslıqda diffuziya tənlikləri torpaq kütləsində

temperatur, maddələrin konsentrasiyası və digər sahələrin hesablanması üçün istifadə oluna bilər.

Dinamiki modellər formalaşmış aqrometeoroloji şərait nəzərə alınmaqla kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlıq prosesinin proqnozlaşdırılması və idarə edilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu bərdə 7-ci fəsildə ətraflı məlumat veriləcəkdir.

Ekosistemlərdə pollutantların (pestisidlərin, neft məhsullarının, radionuklidlərin) toplanmasının və parçalanmasının dinamiki modelləri də məlumdur.

Digər bir nümunəyə zərərli qarışıqların atmosferdə və ya su mühitində məkan turbulent diffuziyanın diffuzion modelini göstərmək olar. Bunun üçün aşağıdakı differensial tənlikdən istifadə olunur:

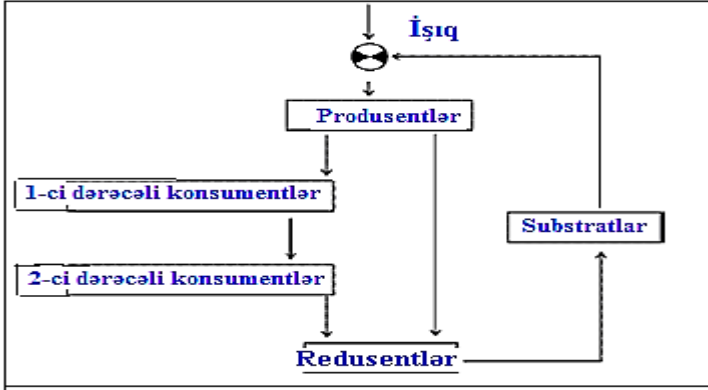
$$\frac{\partial P}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 P}{\partial X^2} - v \frac{\partial P}{\partial X} - kP + F(X, t), \quad (5.27)$$

burada t - vaxt; X - koordinat; P – mühit həcmində qarışığın konsentrasiyası; K_x – birölçülü uzununa diffuziya (mübadilə) əmsalı; v – mühitdə axımın orta sürəti; k – qarışığın qeyri- konservativliyi əmsalı (qarışıqların fiziki-kimyəvi çevrilmələr hesabına mühitdə onların konsentrasiyasının dəyişməsinə təyin edən əmsal; mühitin özü-özünü təmizləməsi əmsalı); $F(X, t)$ – qarışığın mənbəsini təsvir edən məkan-zaman funksiyasıdır.

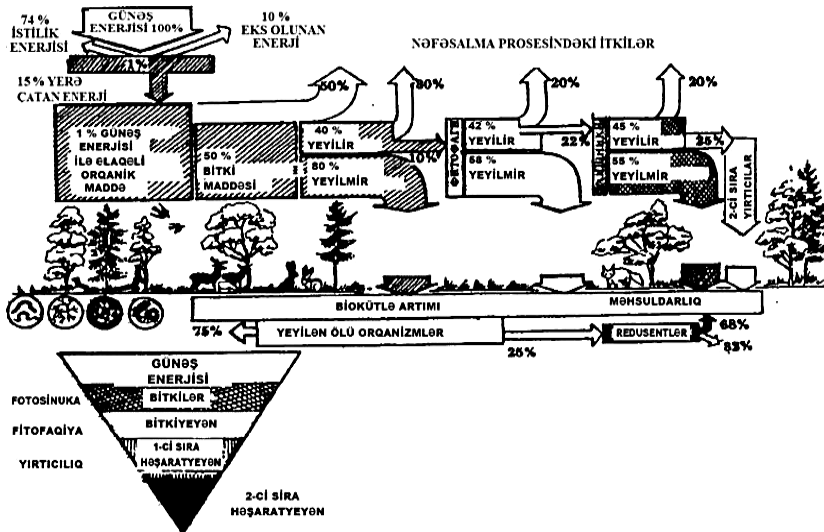
Balans modelləri maddə və enerjinin daşınması proseslərinin məcmusu kimi sistemlərin dinamikasını təsvir edir. Bu vaxt riyazi aparat kimi adi differensial tənliklərdən istifadə olunur. Xüsusi hal isə kompartament adlanan modellərdir. Bu modellər obyektin rezervuar (kompartamentlər) və onları əlaqələndirənləri kanallar kimi təqdim edir.

Ekoloji modelləşdirmədə balans yanaşması bir çox modellər üçün vahid baza rolunu oynayır, müəyyən bir nöqtədə vaxta görə sistemin vəziyyətinin dəyişmə sürətləri ilə məkana görə axınların dəyişmə sürətləri arasında əlaqələri təyin edir.

Məsələn, yerüstü ekosistemlərin əsas komponentləri arasında maddə (kütlə) və enerji axınlarının ümumi sxemini şəkil 5.2-dəki kimi, qarışıq meşələr nümunəsində isə ekosistemdəki enerji axınını şəkil 5.3-dəki kimi təsvir etmək olar.



Şəkil 5.2. Yerüstü ekosistemlərin əsas komponentləri arasında maddə (kütlə) və enerji axınlarının ümumi sxemi



Şəkil 5.3. Qarışıq meşələr nümunəsində ekosistemdəki enerji axını

Axınlar tənliklərin gəlir və çıxış hissəsinin balansını yaradır. Ümumiyyətlə isə balans modeli maddənin və enerjinin saxlanması qanunlarını ehtiyat tənliyi (5.28) kimi təsvir edir. Vəziyyətdəki dəyişmələr isə ehtiyatların artmasını xarakterizə edir. Buna görə də balans modelinin daha səmərəli olması üçün maddənin sistemə daxil olan və sistemdən çıxan bütün yollarını nəzərə almaq lazımdır.

$$Q_{\text{gir.}} - Q_{\text{çix.}} = \Delta Q, \quad (5.28)$$

burada sol tərəfdə maddənin gətirilməsi ilə itirilməsi arasında fərq yazılmışdır, sağ tərəfdə isə sistemdəki ehtiyatın artımı göstərilmişdir.

Praktiki hesablamalar üçün balans tənlikləri sonlu-fərq formada yazılır:

$$S(t+\Delta t) = S(t) + (Q - I - P)\Delta t, \quad (5.29)$$

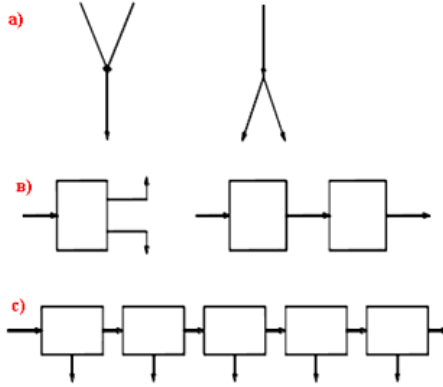
burada t – vaxta görə addım; Q – daxil olan maddənin miqdarı; I , P – sərf olunan maddələrin miqdarıdır.

(5.29) düsturu ilə hesablamalar tənliyin sağ tərəfindəki vaxta görə dəyişən kəmiyyətlərin qiymətlərindən istifadə etməklə ardıcıl olaraq $t=1, 2, \dots, n$ üçün aparılır. Məsələnin həlli üçün maddənin miqdarının başlanğıc anda qiyməti verilir $S(t=0)$ və baxılan vaxt dövründə Δt maddələrin daxil olması və çıxması qiymətləndirilir.

Ekologiyada balans modellərinin tətbiq sahələrinin nümunələri barədə aşağıda qısa məlumat verilir.

Balans modelləri bitkilərin məhsuldarlıq prosesinin, azotun, fosforun, kaliumun torpaqda axın diaqramı kimi yerdəyişməsinin və transformasiyasının təsviri vaxtı (şəkil 5.4) aqrokimyada geniş tətbiq olunur.

Ən sadə *həcmsiz axım* diaqramları elə halları əhatə edir ki, bu vaxt maddənin və ya enerjinin axınları düyünlərdə və ya saxələnmə nöqtələrində birləşirlər və ya ayrılırlar, düyünlərdə isə həcmələr yuxdur.



Şəkil 5.4. Balans modellərinin növləri: a) həcmsiz modellər; b) bir –və iki həcmli modellər; c) xətti çoxhəcmli modellər

Həcmsiz modellər məhlulların və suyun qarışması prosesinin təsviri üçün istifadə olunurlar. Məsələn, iki suaxarın birləşməsi vaxtı balans tənliyi təsdiq edir ki, axınların cəmi düyünlərdən çıxan axımın cəminə bərabərdir. Bu tənliklər su üçün $Q_t = Q_1 + Q_2$, həll olunmuş maddələr üçün $C_t Q_t = C_1 Q_1 + C_2 Q_2$ kimi yazılacaq. Burada Q –su sərfi, C –suda məhlulun miqdarıdır. $1, 2, t$ indeksləri isə müvafiq olaraq birləşən axımlara və cəmi axıma aiddir.

Bu növ balans modeli çay axınında səth və qrunut sularının onların minerallaşma dərəcəsinə görə nisbətlerini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur.

Belə modellərin digər tətbiq sahəsinə çay şəbəkəsində çirkləndiricilərin hərəkətlərinin təsviri aiddir.

Həcmə malik ən sadə modelin bir və ya iki həcmi olur. Bir qayda olaraq bu həcmələr xassələrinə görə identikdirlər və yamac və ya torpaq layları boyu yerləşən hissələrinin ardıcılığından ibarətdir. Belə hallarda həcmələrin iki kənarındakı həcmələri xüsusi xassələrə malikdir, belə ki, onlarda ya giriş, ya da çıxış yoxdur, və ya onlar xarici amillərlə nəzarətdə saxlanılır.

Belə modellər nümunəsinə torpağın şum qatlarında ağır metalların miqrasiyası modelini aid etmək olar. Məsələn, dəyi-

şən kəmiyyət qismində həmin qatda elementlərin vəziyyətinə ($S(t)$, mq/kq)) baxaq. Onda torpaqda ağır metalın orta miqdarına nisbətən differensial tənlik belə yazıla bilər:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{I}{m \cdot \rho} (Q - I - R), \quad (5.30)$$

burada Q – ağır metalların torpaq səthinə daxil olması; I – torpağın aşağı qatlarına filtrasiya yolu ilə metalların çıxarılması; R – metalların bitkiyə translokasiyası (keçməsi), ρ – torpağın sıxlığı; m – şum torpaqlarının qalınlığıdır.

Digər nümunəyə daxili sututarların mineralizasiya dərəcəsinin proqnozlaşdırılmasının balans modelini aid etmək olar. Bu məsələ duz və su balansları tənlikləri əsasında həll olunur və praktiki məqsədlər üçün aşağıdakı sadələşdirilmiş hesablama düsturu alınmışdır:

$$S_{proq} = \frac{S_0 W_0 + S_+ W_+ + S_- W_-}{W_0 + W_+ - W_- - W_{bux}}, \quad (5.31)$$

burada S_0, S_+, S_- - sututarlarda müvafiq olaraq hesablama dövrünün başlanğıcında, axıb-gələn, axıb-gedən suların mineralaşmasının orta qiymətləri; W_0, W_+, W_- - müvafiq olaraq hesablama dövrünün başlanğıcında, sututarın həcmi, axıb-gələn, axıb-gedən suların həcmliəri; W_{bux} – hesablama dövründə sututarın səthindən buxarlanma hesabına su itkisidir.

Yuxarıda göstərilmiş konseptual-balans (kompartament) modelləşdirilməsi torpaqşünaslıqda və geokimyada bioloji dövrünün öyrənilməsində böyük rol oynayır. Geokimyəvi dövrünün modelləri “torpaq-atmosfer” sistemində kül elementlərinin miqrasiyasını və toplanmasını, biokütlənin formalaşmasını və torpaqda üzvi maddələrin ehtiyatlarının dəyişməsinə təsvir edir. Torpaqlardakı üzvi maddə aqroekosistemlərin aralıq rolunun, dayanıqlığının və təhlükəsizliyinin təminində açar rolunu oynayır.

Balans modelləri əsasında dünya üzrə torpaq sahələrinin karbon qazının emissiyasının qlobal modeli qurulmuşdur, Göstərilmişdir ki, yaxın illərdə CO_2 qazının təbiət mənbələrindən

emissiyası texnogen emissiyanı üstələyəcək. Buna görə də iqlimin qlobal istiləşməsini ilk əvvəl torpaqda üzvi maddələrin dağılması və onların deqradasiyası ilə əlaqələndirmək lazımdır. Həm də bu əsasda aqroekosistemlərin dayanıqlığının və təhlükəsizliyinin qiymətləndirilməsi, qlobal iqlim dəyişmələrinin fəsadlarının və təbii mühitin kimyəvi tərkibinin dəyişməsinin qiymətləndirilməsi üzrə tədqiqatlar aparılır.

Müəyyən bir torpaq həcmində və ya su kütləsində ayrı-ayrı torpaq-geokimyəvi göstəricilərin dinamikaları balans modellərinin köməyi ilə yazıla bilər. Saxlanma qanunu torpaq maddəsinin və ya süxurunun ümumi kütləsi ilə bərabər, ayrı-ayrı kimyəvi elementlərin kütlələrinə, həm də tərkibində kimyəvi çevrilmələr nəzərə alınmaqla mürəkkəb kimyəvi birləşmələrə tətbiq oluna bilər.

Meliorativ və aqrometeoroloji hesablamalarda torpağın məhsuldar rütubət ehtiyatlarının proqnozlaşdırılması böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bunun üçün istifadə olunan yanaşmalardan biri laylı-balans modelləşdirilməsidir.

Beləliklə, balans modelləri heterogen (bioloji tərkibinə və ya mənşəyinə görə müxtəlif cinsli) sistemlərin dinamikasının öyrənilməsi üçün əsas alətdir, lakin, onların vəziyyətinin və kinetik xarakteristikalarının dəyişməsini ötürməyə qadir deyillər. Bunun üçün diskret- dəyişən sürətli əmsallarlı avtomat tipli modellər təklif olunmuşdur. Onların xüsusiyyətləri öyrənilən proseslərin hərəkət sürətlərindəki fərqlərdir, onları təsvir edən differensial tənliklər sistemi isə sərt adını almışdır.

5.3. Ekologiyada imitasion və kömpüter modelləşdirilməsi

Ekologiyada imitasion modelləşdirmə. Ekologiyada modelləşdirmənin imitasion sisteminin yaradılması həyata keçirilməlidir və belə işlərin əsas mərhələləri aşağıdakılardır:

1) baxılan ekoloji sistemin öyrənilməsi məsələsinin formalaşdırılması;

2) real ekosistemdə zamanın gedişini modelləşdirən sistemli vaxtın (vaxta görə addım) daxil edilməsi; 3) tədqiqat obyektinin dekompozisiyası və imitasion sistemin blok konstruksiyasının qurulması;

4) həm tam, həm də bloklar üzrə ekosistemlərin fəaliyyətinin qanunlarının və həqiqətəbənzər fərziyyələrin formalaşdırılması;

5) blok tərkib hissələrini realizə edən proqramların işlənilməsi;

6) faktiki (təcrübə) məlumatlarına görə blokların verifikasiyası;

7) standart baza və ya xüsusi işlənmiş riyazi təminat əsasında blokların birləşdirilməsi;

8) mütəxəssis-ekspertlərin rəyləri nəzərə alınmaqla tam formada modelin verifikasiyası və onun adekvatlığının yoxlanılması;

9) riyazi eksperimentlərin planlaşdırılması;

10) məşin eksperimentlərinin təhlili.

Ekoloji proseslərin imitasion modelləşdirilməsində ən vacib an sistemin vəziyyətinin seçilməsi və təsvir edilməsidir. Sistem isə dəyişən vəziyyətlərin toplusu ilə xarakterizə olunur və onları hər bir kombinasiyası konkret vəziyyəti təsvir edir. Beləliklə, bu dəyişən kəmiyyətlərin qiymətlərini dəyişmək yolu ilə sistemin bir vəziyyətdən digərinə keçməsinə imitasiya etmək olar. Beləliklə, imitasiya modelləşdirilməsi – bu, müəyyən qaydalara müvafiq olaraq sistemi bir vəziyyətdən digərinə hərəkətə gətirərək, onun dinamik davranışını təqdim etməkdir. Bu vəziyyətlərin dəyişməsi ya fasiləsiz, ya da diskret vaxt anlarında baş verə bilər. Deməli, imitasion modelləşdirmə vaxt keçdikcə sistemin vəziyyətinin dəyişmələrinin dinamiki əks etdirilməsidir.

İmitasion modelləşdirmə üsulu yüksək mürəkkəbliyə malik məsələləri həll etməyə imkan verir, böyük miqdarda ele-

mentlərdən ibarət olan mürəkkəb və çoxformalı proseslərin imitasiyasını təmin edir.

İmitasion modelləşdirmə - tədqiq olunan sistem çoxsaylı mürəkkəb təbiətli təsadüfi amillərin təsirinə məruz qalması hallarında belə stoxastik sistemlərin tədqiqinin səmərəli aparatıdır. Eyni zamanda qeyri-müəyyənlik, tam və dəqiq olmayan məlumatlar vaxtı da tədqiqatlar aparmaq olar.

İmitasion modelləşdirmə qərarların qəbulunun təmin sistemində vacib amildir, belə ki, böyük miqdarda alternativləri (həll variantlarını) tədqiq etməyə, istənilən giriş məlumatları vaxtı müxtəlif ssenariləri variasiya etməyə imkan verir.

İmitasion modelləşdirmə üsulunu ümumi formada real sistemin tədqiqinin onun imitasiya modelinə görə təyin etmək olar və eksperimental yanaşmanın xüsusiyyətlərini və hesablama texnikasının istifadəsinin spesifik şəraitini birləşdirir. Belə təyin olunmada qeyd olunur ki, imitasiyon modelləşdirmə informasiya texnologiyalarının inkişafı hesabına modelləşdirmənin kompüter üsuludur və bu da kompüter modelləşdirilməsinin belə növünün ortaya çıxmasına səbəb olmuşdur. Eyni zamanda imitasiyanın eksperiment xarakterinə diqqət çəkilir və modelləşdirmənin imitasiya üsulu (eksperiment model vasitəsilə aparılır) tətbiq olunur.

İmitasion modelləşdirmə həm də statistik eksperimentdən ibarətdir. Onun nəticələri müxtəlif statistik yoxlamalara əsaslanmalıdır. Bu vaxt fərziyyələrin yoxlanılması hipotezlərindən, etibarlılıq intervallarından istifadə etmək olar.

Mürəkkəb ekoloji sistemlərin imitasiyon modelləşdirilməsi vaxtı onları altmodellərə bölürlər, buna görə də model müəyyən bir altmodellər kompleksi kimi olur. Altmodelləri qurmaq üçün isə onların hər biri üçün müxtəlif riyazi aparatdan istifadə olunur.

İmitasiya modelləşdirilməsində tədqiqatçı dörd əsas elementlə təmasda olur:

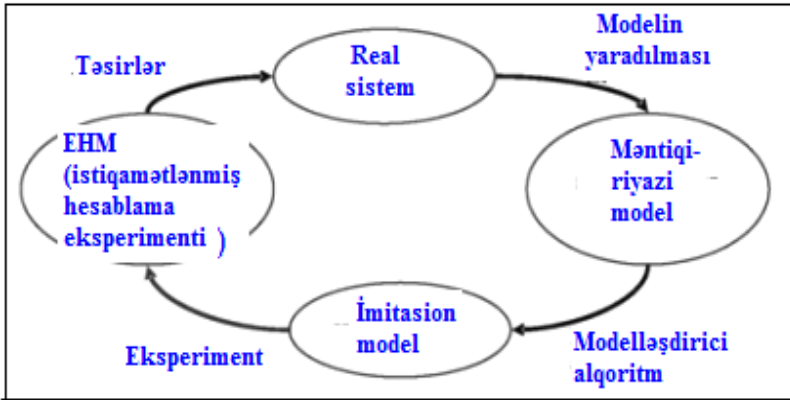
- real sistem;

- modelləşdirilən obyektin məntiqi-riyazi modeli;
- imitasion (maşın) modeli;
- istiqamətlənmiş hesablama eksperimenti həyata keçirilən EHM.

Mürəkkəb sistemin tərkib xarakteri onun modelini üç çoxluq növü kimi təsvir edir: A , S , T , burada A – elementlər çoxluğu (buraya xarici mühit də daxil edilir); S – elementlər arasında mümkün əlaqələr çoxluğu (modelin strukturu); T – baxılan vaxt momentlərinin çoxluğu).

İmitasion modelləşdirmənin xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, imitasiya modeli modelləşdirilən obyektə yenidən emal etməyə imkan verir (şəkil 5.5):

- onun məntiqi strukturunu saxlamaqla;
- davranış xassələrini, yəni, qarşılıqlı təsirlərin dinamikasını saxlamaqla.



Şəkil 5.5. İmitasion tədqiqatlar prosesi

İmitasion modelləşdirmə vaxtı modelləşdirilən sistemin strukturu modeldə adekvat olaraq əks etdirilir, onun fəaliyyəti qurulmuş modeldə imitasiya edilir. Buna görə də imitasion modelin qurulması modelləşdirilən obyektin və ya sistemin strukturunun və ya onun fəaliyyət planının təsvirindən ibarətdir və real ekoloji sistemin məntiqi strukturu modeldə əks etdirilir,

həm də modelləşdirilən sistemdə altsistemlərin qarşılıqlı təsir dinamikası imitasiya olunur.

İmitasion modelləşdirmədə modelləşdirilən proseslərin dinamikasını təsvir etmək üçün *model vaxtının* verilməsi mexanizmi realizə olunur.

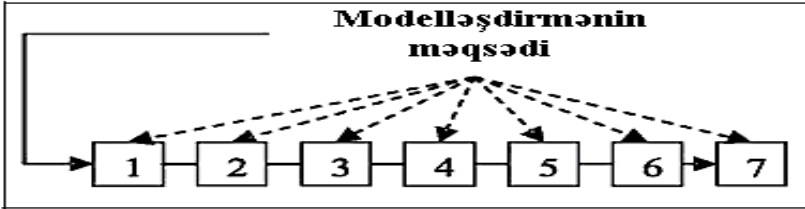
İmitasiya modelləşdirilməsi prosesində *informasiyanın toplanmasının* üç ən ümumi üsulu seçilir: *altintervallar, təkrar və dövriyyə üsulları*.

Altintervallar üsulunun ideyası ondan ibarətdir ki, keçid (başlanğıc) dövründəki informasiya nəzərə alınmır, qalan hissə isə vaxt intervallarına müvafiq olaraq n qrupa bölünür. Sonra tələb olunan informasiya hər bir qrupunun hüdudlarında ortalaşdırılır və ona qrupun tək qiyməti kimi baxılır. Bu üsulun üstünlüyü keçid dövrünün modelin ümumi məlumatlarına təsirinin nivelirləşdirilməsidir. Çatışmayan cəhətə isə qrupların sərhədlərinin korrelyasiyaya uğraması aiddir, bu da məlumatların sərbəst dəyişməsi fərziyyəsini pozur.

Təkrar üsulu hər bir müşahidə üçün asılı olmayan modelləşdirmənin aparılmasını və modelin hər dəfə işə salınması üçün axtarılan kəmiyyətin ortalaşdırılmasını nəzərdə tutur. Bu üsulda da başlanğıc dövr nəzərə alınmır. Bu üsulun çatışmayan cəhəti ondan ibarətdir ki, informasiya bir sıra halda başlanğıc (keçid) dövrünün güclü təsiri altında ola bilər. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün həm təkrarlanmanın sayını, həm də modelləşdirmənin vaxt intervalının uzunluğunu artırmaq lazımdır.

Dövriyyə üsulunun işlənilməsinin əsas məqsədi avtokorrelyasiyanın təsirinin azaldılması olmuşdur. İmitasion modelləşdirmənin texnoloji sxeminin ümumi görünüşü şəkil 5.6-da göstərilmişdir.

Ümumiyyətlə isə bütün imitasion modelləşdirmə prosesi, yəni modellərin qurulmasından, onun yoxlanılmasına qədər olan mərhələlər çoxluğu tədqiqatların çox ciddi işlənmiş strategiyası və modelləşdirmədə istifadə olunan məlumatların ciddi formada yoxlanılması ilə əlaqəli olmalıdır.



Şəkil 5.6. İmitasion modelləşdirmənin texnoloji sxeminin ümumi görünüşü: 1. real sistem; 2. məntiqi-riyazi modelin qurulması; 3. modelləşdirən alqoritmin işlənməsi; 4. imitasion (kömpüter) modelinin qurulması; 5. imitasion eksperimentlərin planlaşdırılması və aparılması; 6. nəticələrin emalı və təhlili; 7. real sistemin davranışı barədə nəticələr (qərarların qəbul edilməsi)

Tədqiqatların imitasion xarakter daşması öyrənilən prosesi (sistemi) təsvir edən məntiqi, və ya məntiqi-riyazi modellərin mövcudluğunu nəzərdə tutur. Mürəkkəb sistemin məntiqi-riyazi modeli həm alqoritmik, həm də qeyri-alqoritmik ola bilər. Belə ki, ümumi halda imitasion model dedikdə modelləşdirən alqoritmin proqram realizasiyası başa düşülür.

Mürəkkəb ekoloji sistemləri ətraflı təsvir edən riyazi modellər imitasion modellər adlanır. Burada real ekoloji sistem qarşılıqlı təsirdə və vaxta görə fəaliyyətdə olan elementlər toplusu kimi təyin olunur. İmitasion modellər real ekoloji proseslərə maksimal adekvat olduğu üçün, maksimal miqdarda detallaşdırmanı nəzərə almaq lazımdır.

Layihələşdirilən sistem barədə söhbət olanda və ya inkişaf prosesləri (real sistemin hələ mövcud olmadığı hallar üçün) tədqiq olunarsa, onda imitasion modeli proqnozlaşdırma məsələlərində istifadə etmək olar.

İmitasion modelin təsvirində iki tərkib hissəni seçirlər:

- sistemin statistik təsviri, bu demək olar ki, onun strukturunun təsviri deməkdir. İmitasion modellərin işlənilməsi vaxtı modelləşdirilən ekoloji sistemlərin struktur təhlilini həyata keçirilir;

- sistemin dinamikı və ya onun elementlərinin qarşılıqlı təsirlərinin dinamikasının təsviri.

İmitasion modeli tərtib etmək üçün lazımdır:

- real sistemi (prosesi) qarşılıqlı təsirdə olan elementlər toplusu kimi təsvir etmək;

- ayrı-ayrı elementlərin fəaliyyətini alqoritmik olaraq təsvir etmək;

- müxtəlif elementlərin öz aralarında və xarici mühitlə qarşılıqlı təsirlərini təsvir etmək.

İmitasion modellərlə iş ancaq müşahidə və eksperimentlərdən təyin olunan *modelin parametrlərinin* qiymətlərinin bilinməsini tələb edir. Belə parametrlərin təyin edilməsi üçün tez-tez hallarda xüsusi müşahidə və eksperiment üsulları da işlənir.

İmitasion modelləri fasiləsiz, diskret və fasiləsiz-diskret növlərə ayırmaq olar.

Fasiləsiz imitasion modellərdə dəyişən kəmiyyətlər fasiləsiz olaraq dəyişir, modelləşdirilən sistemin vəziyyəti vaxtın fasiləsiz funksiyası kimi dəyişir və bir qayda olaraq bu dəyişmə differensial tənliklər sistemi ilə təsvir edilir. Müvafiq olaraq model vaxtının irəliləyişi differensial tənliklərin həllinin ədədi üsullarından asılıdır.

Diskret imitasion modellərdə dəyişən kəmiyyətlər diskret olaraq imitasiya vaxtının müəyyən anlarında (hadisələrin başlanması) dəyişir. Diskret modellərin dinamikası baxılan hadisənin başlanması vaxtından növbəti hadisənin başlanması vaxtına keçidi prosesindən ibarətdir.

Real sistemlərdə bir çox hallarda fasiləsiz və diskret prosesləri ayırmaq mümkün olduğu üçün, fasiləsiz-diskret modellər işlənmişdir və bu modellərdə hər iki proses üçün xarakterik olan vaxtın irəliləyişi mexanizmləri birləşdirilir.

İmitasion kompüter modellərinə sistemin komponentləri və onların qarşılıqlı əlaqələr barədə təsəvvürlər daxil edilir. Onları isə riyazi obyektlər kimi, yəni düsturlar, tənliklər, mat-

risalar, məntiqi prosedurlar, həm də qrafiklər, cədvəllər, məlumatlar bazası, ekoloji monitorinqin operativ informasiyası kimi vermək olar. Belə çoxölçülü modellər ekoloji və ya ekoloji-iqtisadi sistemlər haqqında müxtəlif növ informasiyanı birləşdirməyə, inkişafın müxtəlif ssenarilərini “ifa etməyə” və unikalığı və vaxt məhdudiyyəti səbəbindən real sistemdə həyata keçirilməsi mümkün olmayan idarə etmənin optimal strategiyasını model əsasında hazırlamağa imkan verir.

Ekoloji proseslərin tədqiqində kompleks imitasion modellərdən də geniş istifadə olunur. Beləliklə onlar empirik məlumatlardan keyfiyyətə daha tam istifadə etmək hesabına aqroekoloji proqnozların adekvatlığının yüksəldilməsinə xidmət edir. Onların köməyi ilə kompüterlərin köməyi ilə obyekt barədə istənilən empirik məlumatları formalizasiya etmək üçün xidmət edə bilər. Regional səviyyəli geoeosistemlərin kompleks imitasion modellərin qurulması vaxtı isə ən böyük effekt mürəkkəb sistemlərin aşağıdakı klassik xassələrinin istifadəsi hesabına əldə olunur:

- bir kvazistasionar vəziyyətdən digərinə keçməklə mürəkkəb sistemlərə öz hərəkətini sıçrayışvari dəyişməsi xasdır;
- mürəkkəb sistemin xarakteristikası üçün onun müəyyən xassələr qrupunu (sistem əmələ gətirici amillər toplusu) qiymətləndirmək kifayətdir və onlar daha yüksək səviyyəli sistemin fəaliyyəti nöqtəyi-nəzərindən vacibdir.

Kompleks imitasion modellərin formalizasiyası diskret sistemdir və bu sxem aşağıdakı növə görə fəaliyyətdədir: *meyar (integral göstərici) → vəziyyət (növlər) + təsir → çağırışa cavab (vəziyyətin dəyişməsi)*. “Vəziyyət” abstrakt anlayışı “tip” (məsələn, coğrafiyada, torpaqsünəşlikdə) anlayışına müvafiqdir, obyektin vaxta görə dəyişməsi (məsələn, biogeosenozun) bir tipdən digərinə keçidi təşkil edir.

Ekologiyada imitasion modellərin konkret tətbiq sahələrinə mürəkkəb canlı sistemlərdəki proseslərin modellərini aid etmək olar. Bunlara klassik nümunə kimi, molekulyar dinami-

kanın modelini göstərmək olar. Modeldə koordinatlar və biomakromolekulu təşkil edən bütün atomların impulsları və onların qarşılıqlı təsirləri qanunları verilir.

Kompüterdə hesablanı bilən sistemin “həyat” mənzərəsi ən sadə bioloji obyektlərin–biomakromolekulların fəaliyyətində hansı fizika qanunlarının özünü biruzə verməsini izləməyə imkan verir. Elementləri atom yox, atomlar qrupundan ibarət olan oxşar modellər biotexnologiyaya preparatların və dərman preparatlarının kompüter konstruksiyalarının müasir texnikasında istifadə olunurlar.

Canlı orqanizmlərin həyatı vacib orqanlarında baş verən fizioloji proseslərin təsviri üçün qurulmuş imitasion modellər də mövcuddur.

İmitasion modellər bitkilərin məhsuldarlıq prosesinin təsviri üçün də geniş istifadə və maksimal məhsuldarlığın və s. alınması məqsədilə bitkilərin optimal becərilmə rejiminin hazırlanması üçün tətbiq olunurlar.

Ekologiyada kompüter modelləşdirilməsi. Ekologiyada kompüterlərdən istifadə yolları çox müxtəlifdir – müşahidələrin və eksperimentlərin nəticələrinin emalı, ekoloji informasiya bazasının yaradılması, kompüter xəritəçəkməsi və s. Bunlarla bərabər ekologiyada riyazi modelləşdirmə üsullarının tətbiqi kompüter olmadan mümkün deyil. Məsələn, yuxarıda göstərilən dinamik və imitasion modellərin qurulması kompüterlərdə əsasən həyata keçirilmişdir. Onların əsas üstünlüyü universallığı, qurulması rahatlığı, yeni informasiya məlumatlarının daxil edilməsinin sürətlənməsidir.

Ekoloji proseslərin modelləşdirilməsinə kompüterlərin cəlb edilməsi bu işlərin sərhədlərini əhəmiyyətli dərəcədə genişləndirmişdir. Bunlarla bərabər, analitik tədqiqatları nəzərdə tutmayan mürəkkəb riyazi modellərin hərtərəfli realizasiyası imkanları yaranmış və prinsipial yeni istiqamət və ilk növbədə imitasion modelləşdirmə istiqaməti yaranmışdır.

Bu bölmədə əsas diqqət kompüter modelləşdirilməsinin müəyyən xüsusiyyətlərinə baxılır. Kompüter modelləşdirilməsinin həyata keçirilməsi prosesini bir neçə mərhələyə bölmək olar:

- tədqiqat obyektinin seçilməsi və təhlilə məruz qalacaq problemin formalaşdırılması;

- təhlil olunan sistemdə qüvvədə olan qanunlar barədə fərziyyələrin formalaşdırılmasından ibarət olan nəzəri modelin qurulması (əksər hallarda bu məsələ riyazi nisbətlər formasında verilir);

- məsələnin həll alqoritminin işlənilməsi (və ya artıq məlum olanın seçilməsi);

- hər-hansı bir proqramlaşdırma dilinin köməyi ilə alqoritmın realizasiyası, yəni kompüter proqramının yazılması;

- cavabı əvvəlcədən məlum olan hesablamaların aparılmasından ibarət olan proqramın testləşdirilməsi;

- təhlilə məruz qalacaq vəziyyətlər üçün hesablamaların aparılması.

Kompüter modelləşdirilməsinə zəruriyyət ən çox hallarda iki məsələnin həllində yaranır: tədqiqat məsələlərinin həlli və məlum nəzəri müddəalar əsasında proqnozların işlənilməsi vaxtı.

Birinci halda əsas diqqət mövcud nəzəri müddəaların işlənilməsinə və ya dəqiqləşdirilməsinə yönəldilir. Bu halda kompüter modelləşdirilməsini o vaxt uğurlu hesab etmək olar ki, aparılmış bütün hesablamaların nəticələri eksperimental məlumatlarla üst-üstə düşsün. Bu vəziyyətə çatana qədər nəzəri müddəaları və onların realizasiyası alqoritmlərini dəqiqləşdirmək lazımdır.

Kompüter modelləşdirilməsinin nəticəsi bu və ya digər etibarlılığa malik proqnoz olarsa, onda *ikinci hal* böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edəcək.

5.4. Ekologiyada informasiya modelləşdirilməsi

İnformasiya modelləşdirmə öyrənilən ekoloji sistemdə informasiyanın toplanması, saxlanması, emalı və ötürülməsi proseslərinin tədqiqi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Onun əsasında üç postulat durur:

1. İstənilən mahiyyət elementlərdən (obyektlərdən) ibarətdir.

2. Obyektlər keyfiyyət və kəmiyyət xassələri ilə xarakterizə olunur.

3. Obyektlər müəyyən münasibətlərlə əlaqəlidir.

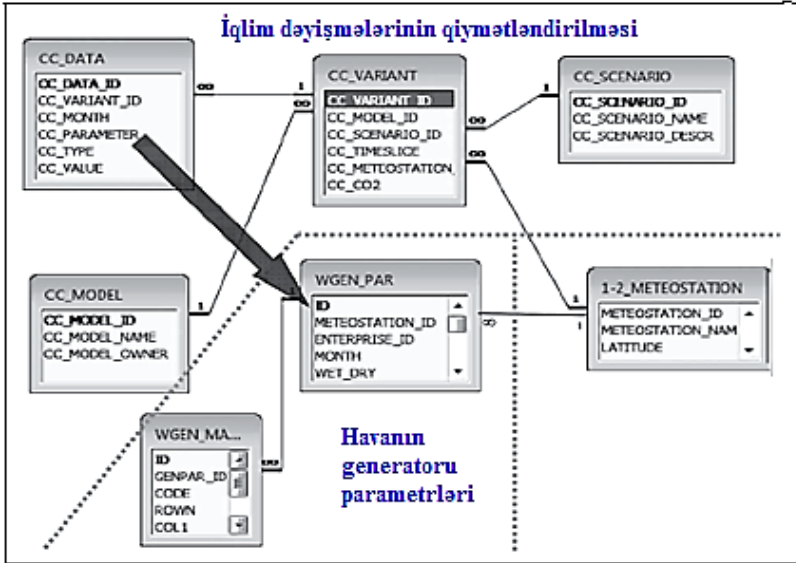
Yuxarıda göstərilən postulatlara cavab verən istənilən mahiyyət informasiya modelə təqdim oluna bilər.

İnformasiya modellər təsnifat (statistik) və dinamik modellərə bölünür. Təsnifat modelləri diaqnostika, obrazların tanınması, sxemlərin təhlili kimi məsələlərin həlli üçün qurulur. Nümunə kimi üzvi dünyanın təsnifatını göstərmək olar: bakteriya – göbələklər- yosunlar – bitkilər – heyvanlar – insan.

Dinamik modellər proqnozlaşdırma və idarəetmə məsələlərinin həlli üçün qurulur. Məsələn, texnoloji proseslərin idarə edilməsinin avtomatlaşdırılmış sistemi.

İnformasiya modellərin qurulmasının aşağıdakı üsulları mövcuddur: qrafiki, şəbəkə, matrisalı, qrafo-analitik, ehtimal, imitasiya. Qrafik üsula qrafiki hissə və təsvir daxildir. Şəbəkə üsulu işin aparılmasının məntiqi-vaxt ardıcılığını əks etdirir. Matrista üsulu sənədlərin toplanması, onların sənədləşməmiş məlumatlarla artırılması və qurulmuş matrisanın təhlilini həyata keçirir. Qrafo-analitik üsul sonralar aralıq və yekun göstəriciləri də hesablamaqla istiqamətlənmiş qrafik modelinin qurulmasını nəzərdə tutur. Ehtimal üsulu informasiya axını təsadüfi xarakter daşıyan informasiya sistemlərinin təhlili üçün tətbiq edilir.

Bu bölmənin sonunda kompüter eksperimentində iqlim dəyişmələrinin təsvirinin informasiya modeli barədə məlumat şəkil 5.7-də verilmişdir.



Şəkil 5.7. Kompüter eksperimentində iqlim dəyişikliklərinin təsvirinin informasiyon modelinin sxemi

5.5. Ekologiyada matrisa modeli

Matrisa modelləri obyektin dinamikasını onların vəziyyətinin ardıcıl dəyişməsi kimi təqdim edir:

$$a(t+1) = A \cdot a(t), \quad (5.32)$$

burada a – obyektin vektor xarakteristikaları, A – təsirlərin kvadratik matrisası, t – zaman müddətidir.

Ümumi halda A matrisası dəyişən kəmiyyət kimi ola bilər və onun elementləri zamandan asılı olacaq. Əgər obyektin xassələrinin dinamikasını xətti şəkildə vermək mümkündürsə, onda matrisa modelini tətbiq etmək olar. Sistemin fəaliyyət rejimi dəyişməzsə, onda yuxarıda göstərilən kvazistasionar vəziyyətlər üçün qanunauyğundur. Matrisa modelləri əsasən ekologiyada populyasiyaların dinamikasının təsviri üçün istifadə olunur.

Burada nümunə kimi, ekoloji tədqiqatlarda əhəmiyyətli rol oynamış Leopold matrisası modelinə baxılmışdır. Bu matrisa və onun çoxsaylı variantları tərkibinə şaquli üzrə mümkün hərəkətlərin (suyun başqa yerə axıdılması, yolların salınması və s.) siyahısı, üfüqi üzrə isə təsirlərin potensial indikatorlar çoxluğunun siyahısını daxil edən *təsirlər cədvəlindən* ibarətdir (şəkil 5.8).

	a	b	c	d	e
a		2/1			8/5
b		7/2	8/3	3/1	9/7

Şəkil 5.8. Leopold matrisasının fraqmenti

Bu matrisanın ən birinci variantında ətraf mühitə təsir edən bilən 100 fəaliyyətin siyahısı üfüqi sütunda, ətraf mühitin 88 xarakteristikasının siyahısı isə şaquli sütunlarda verilmişdir. Hər bir təsirin və hər bir amilin kəsişməsinə müvafiq olan təsir onun amplitudası və vacibliyi ilə təsvir olunur.

Amplituda – ümumi səviyyənin ölçüsüdür. Məsələn, yolların tikilməsi mövcud suyun axması üçün qurğular sistemini dəyişər və ya ona zərərli təsir göstərər və beləliklə, su axımına böyük təsir göstərər.

Vaciblik - hər bir konkret halda ayrı-ayrı insanın fəaliyyətinin əhəmiyyətlik ölçüsüdür. Konkret yolun su axımına təsiri vacibliyi yolun uzunluğunun kiçik olması səbəbindən əhəmiyyətsiz ola bilər və ya ona görə ki, baxılan konkret halda yolun salınması suyun axımına güclü təsir göstərməyəcək. Əgər, hər qarşılıqlı təsiri iki ədədlə qiymətləndirmək olarsa, onda elə faktiki məlumatları ayırmaq olar ki, onları amplitudaların ölçülməsi yolu ilə almaq daha asandır, nəinki balla ifadə olunmuş vacibliyin daha subyektiv qiymətləndirilməsi vaxtı.

Leopold tərəfindən bu matrisanın istifadəsi üzrə təlimat təklif olunmuşdur:

- nəzərdə tutulan layihəyə daxil olan bütün fəaliyyətləri (matrisanın yuxarı hissəsində yerləşənləri) öyrənmək;

- təsir göstərə bilən hər bir təsirin altında matrisanın müvafiq sətiri ilə kəsişməsində kəsilmiş yer etmək;

- kəsilmiş yer olan hər bir xananın yuxarı sol küncündə mümkün təsirlərin amplitudunu təyin edən 1-dən 10-a qədər rəqəm yerləşdirmək (10 ən böyük, 1 isə ən kiçik (sıfır olmayan) amplitudaya müvafiqdir); hər bir təsir insan üçün sərfəli olarsa, onun qarşısında «+» işarəsi qoymaq; xananın aşağı sağ küncündə mümkün təsirlərin vacibliyini təyin edən 1-dən 10-a qədər rəqəmlər yerləşdirmək;

- matrisaya əlavə olunmuş mətndə ən vacib təsirlərin müzakirəsi, həm də ən böyük rəqəmlərə malik özəklərin olduğu sətir və sütunlar daxil edilməlidir.

Təsir matrisalarının istifadəsi ilə əlaqəli yaranan əsas problem ondan ibarətdir ki, “fəaliyyət-tək effekt” sxemi realistik deyil. Eyni zamanda təsirlərin ardıcılığının və onların səbəblərinin təyinində çətinliklər yaranır. Bunlardan əlavə, 8800 özəyin olması Leopold matrisasını hesablamalar üçün iri və çox yer tutan edir. Belə matrisalar uzun müddət Şimali Amerikada ətraf mühitə təsirin qiymətləndirilməsinin ümumi qəbul edilmiş üsulu olmuşdur. Artıq müasir dövrdə bu üsulun təkmilləşdirilmiş variasiyaları mövcuddur, bunlarda ayrı-ayrı çatışmazlıqlar aradan qaldırılmışdır, lakin onların ümumi strukturu dəyişməmişdir.

VI FƏSİL. POPULYASIYALARIN DİNAMİKASININ RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

6.1. Populyasiyaların dinamikalarının riyazi modelləşdirilməsinin əsasları

Populyasiya dinamikası – onun əsas bioloji göstəricilərinin (sayı, biokütləsi, strukturu) vaxta görə dəyişməsi ekoloji amillərdən asılılığı prosesidir. Populyasiyanın həyatı özünü onun dinamikasında, yəni ən əhəmiyyətli bioloji və ekoloji hadisələrin birində biruzə verir. Populyasiyaların dinamiki nəzəriyyəsi aydın göstərilmiş əlavələr həlqəsinə malikdir. Bu isə insanlar tərəfindən istismar olunan, həm də özünə tabe etdirdiyi populyasiyalarla əlaqəli olan məsələlər məcmusudur.

Beləliklə, zamana görə populyasiyaların sayının dəyişməsini təsvir etmə populyasiya dinamikasının predmetini təşkil edir, bu isə riyazi biologiyanın tərkib hissəsidir. Müxtəlif bioloji təbiətə malik populyasiyaların eyni riyazi aparatla təsviri imkanı onunla şərtləndirilir ki, dinamiki nöqtəyi-nəzərdən təkamül prosesi nəticəsində canlı orqanizmlərin sayının artması və seçilməsi “kinetik mükəmməllik” prinsipinə əsasən baş verir.

Populyasiyaların riyazi modelləşdirilməsində istifadə olunan anlayışlar. Populyasiyaların riyazi modelləşdirilməsində istifadə olunan anlayışlar aşağıdakılardır.

Populyasiyanın sıxlığı – bu vahid məkana aid edilən populyasiyaların kəmiyyətidir. Onları vahid sahəyə və ya həcmə aid edilən fərdlərin sayı ilə ifadə edirlər. Məsələn 1 ha-da 750 ağac və ya su səthinin 1 ha-ında 300 kq balıq.

Sürət hər nəyinsə vaxta görə dəyişməsinin tezliyini xarakterizə edir. Məsələn, bir il ərzində doğulmuş fərdlərin sayı doğum sayının sürətidir. Əgər N orqanizmlərin sayından ibarətdirsə və t vaxtdırsa, onda ΔN – orqanizmlərin sayının dəyişməsidir və $\Delta N/\Delta t$ – müəyyən vaxt ərzində orqanizmlərin sayının dəyişməsinin orta sürətidir.

Tez-tez hallarda orta sürəti bilməklə bərabər, bu və ya digər vaxt anında nəzəri ani sürəti də, başqa sözlə, Δt sıfıra yaxınlaşan vaxtı olan sürəti bilmək lazımdır. Riyazi təhlildə ani sürətə baxılan hallarda Δ işarəsini d hərfi ilə dəyişirlər. *Bu halda $\Delta N/\Delta t$ ifadəsi dN/Ndt ifadəsi mənasını alır.*

Əgər mühit heç bir məhdudiyət qoymursa (məkan, qida və digər orqanizmlər limitləşdirici təsir göstərmir), artmanın xüsusi sürəti (bir fərdə hesabda populyasiyanın artma sürəti) baxılan şərait üçün sabit və maksimal olacaq. Populyasiyalar üçün belə əlverişli şəraitdə artma sürətinin qiyməti populyasiyanın nəslə artma qabiliyyətinin vahid göstəricisi olacaq. Bu göstəricini r hərfi ilə işarə etmək və ona həm də populyasiyanın ani artım əmsalı kimi də baxmaq olar. Onda,

$$dN/dt = rN; r = dN/(Ndt). \quad (6.1)$$

Populyasiyaların artmasını aşağıdakı modellərlə təsvir etmək olar:

1) Maltusun eksponensial artma modeli – 4-cü fəsilə qeyd olunduğu kimi, populyasiyaların artma dinamikasının ilk modellərindən biridir və bu model vasitəsilə populyasiyaların sayı və ya sıxlığı $N(t)$ aşağıdakı tənliklə təsvir olunur:

$$dN/dt = (B-D) \cdot N, \text{ və ya } N(t) = N_0 \cdot \exp(r \cdot t), \quad (6.2)$$

burada B – doğum sayı əmsalı; D – populyasiyanın ölüm sayı əmsalı; $r=B-D$ – populyasiyanın artma sürəti (qeyd etmək lazımdır ki, eksponensial artma üçün $r = const$).

2) Populyasiyanın məhdud artma modeli 1825-ci ildə B.Qomperts tərəfindən təklif olunmuşdur. O, doğum sayı əmsalı ilə ölüm sayı əmsalı arasındakı fərq üçün Maltus tənliyinə aşağıdakı asılılığı daxil etmişdir:

$$r(N) = r \cdot \ln(N/K) / \ln K, \quad (6.3)$$

burada K - populyasiyanın xarakteristikasının son həddə çatdırılmış qiymətidir və bu qiymətə populyasiyanın artması vaxtı çatmaq olar ($r = const > 0$).

3) Logistik artma modeli, Ferxyulst-Pirl tərəfindən təklif olunmuşdur. Bir çox populyasiyaların artmasının empirik tədqiqi göstərmişdir ki, «doyma» (K -nın ən son həddinə çatma) daha tez baş verir, nəinki, Hompertsin modelinə əsasən alınan müvafiq nəticələr. Ferxyulst-Pirl modeli – məhdud artma şəraitində populyasiyanın say (sıxlıq) dinamikasının tənliyidir:

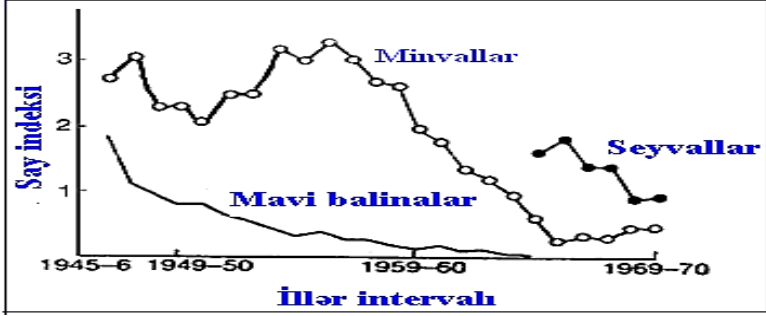
$$r(N) = r - (K-N)/K \text{ və ya } r(N) = (a-b-N), \quad (6.4)$$

burada $a = r$, $b = r/K > 0$ – r -in N -dən xətti asılılığının parametrləridir.

Populyasiyanın artma əyriləri. Populyasiyanın sayının artması xarakteri müxtəlif ola bilər, və buna görə də populyasiyaların artmasının müxtəlif növləri seçilir. Say artmasının xarakterini və onları *artma əyriləri* ilə xarakterizə edirlər. Formasına görə artma əyrilərinin iki əsas növünü seçmək olar: *J-formalı* və *S-formalı* və ya *siqmoid əyrilərlə* təsvir olunan artma. Müxtəlif orqanizmlərin və mühitlərin xüsusiyyətlərinə uyğun olaraq, bu əyrilər mürəkkəbləşə, modifikasiyaya uğraya və ya müxtəlif formada birləşə bilər. *J-formalı əyri* halında sıxlıq əvvəlcə eksponensial olaraq artır sonra, mühitin müqaviməti və ya digər limitləşdirici amil (adətən daha çox və ya az kəskin) təsir göstərməyə başladıqdan sonra artma sürətlə azalır. Bu növ artma eksponensial tənliklə təsvir olunur: $dN/dt = \exp(N)$. *S-formalı əyrilərlə* təsvir olunma vaxtı populyasiyanın artması əvvəlcə yavaş-yavaş (müsbət təcil prosesi), sonra daha sürətlə (yəqin ki, loqarifmik fazaya yaxınlaşaraq), bundan sonra isə mühitin müqaviməti nəticəsində artma tədricən zəifləməyə (mənfi təcil fazası) başlayır. Ən axırda isə tarazlıq yaranacaq və saxlanmaqda davam edəcək. Nümunə kimi, şəkil 6.1-də üç növ balinanın say göstəricilərinin əyriləri təsvir olunmuşdur.

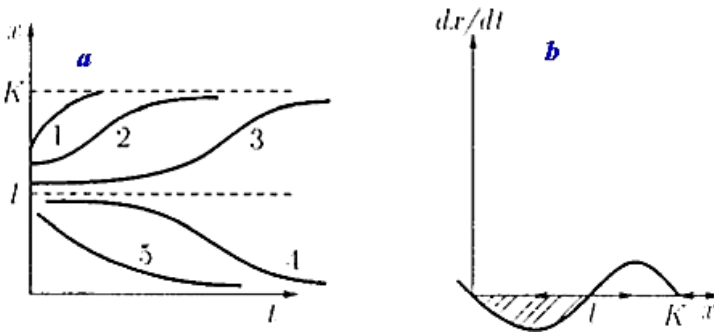
Növ daxili rəqabəti təsvir edən edən zaman, həm populyasiyaların sayının yuxarı, həm də aşağı böhran sərhədlərini müəyyən edən modellərin iki dayanıqlı həll yolları var. Onlardan biri – başlanğıc say üçün sıfırdır, yəni populyasiyanın böh-

ran qiymətindən aşağıdır. Digəri isə - başanğıc say böhran qiymətindən çox olduqda ekoloji taxçanın məskənin tutumuna (K) bərabərdir.



Şəkil 6.1. Dünya okeanında üç növ balinanın say dinamikası. Ordinat oxu üzrə say indeksi, absis oxu üzrə isə 1 min gəmi-ton-sutka payına düşən öldürülmüş balinaların sayı

Populyasiyanın sayının zamandan və artma sürətindən asılılığı şəkil 6.2-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 6.2. Populyasiyanın sayının zamandan və artma sürətindən asılılığı

Şəkil 6.2-də 1-5 əyriləri sayların müxtəlif başlanğıc qiymətlərinə ($x=0$, $x=K$, $x=L$) müvafiq gəlir. $x=0$ və $x=K$ olduqda dayanıqlı stasionar, $x=L$ - dayanıqlı vəziyyətin təsir oblastlarını ayıran dayanıqsız halı xarakterizə edir. L və K kəmiyyətləri

müxtəlif populyasiyalar üçün müxtəlifdir və müşahidə və eksperimentlərin nəticələrindən təyin oluna bilər.

Şəkil 6.2a-dan görünür ki, ovlanma və ya əlverişsiz şərait səbəbindən populyasiyaların sayının azalmasından sonra, onun bərpa olunması sürəti yeni başlanğıc sayın L təhlükəli sərhədə nə qədər yaxın olmasından asılı olacaq. Əgər populyasiyaya vurulmuş ziyan çox olmazsa (ekoloji məskənin həcmindən az), populyasiya 1 əyrisi üzrə əyilmə nöqtəsi olmadan sürətlə bərpa olunacaq. Əgər, sağ qalmış populyasiyanın sayı böhran həddə yaxın olarsa, onda bərpa olunma əvvəlcə asta-asta baş verəcək (elə bil ki, populyasiyanın sayı uzun müddət təhlükəli sərhədin yaxınlığında “ilişib qalacaq”), sonra isə “güc yığaraq” daha sürətlə dayanıqlı stasionar səviyyəyə (K) çıxacaq (əyri 3). Əyri iki aralıq halı təqdim edir. 4, 5 əyriyə populyasiyanın başlanğıc sayının böhran sərhədindən aşağı düşməsi halını təsvir edir. 3 və 4 əyriyənin başlanğıc hissələrinin oxşarlığı diqqəti çəkir.

Ümumiyyətlə isə, sayları aşağı böhran həddinə yaxın olan bütün populyasiyaların adları “Qırmızı kitab” salınmışdır.

6.2. Müxtəlif məkan və şəraitdə populyasiyaların dinamikasının modeli

Ayrılıqda və məhdudiytsiz məkanda və qida ehtiyatları şəraitində populyasiyaların dinamikasının modeli. Burada bir növün qrupuna aid olan və qeyri-məhdud arealda və qeyri-məhdud qida ehtiyatları olan sabit mühitdə və başlanğıc biokütləyə malik olmaqla təcrid olunmuş populyasiyanın inkişafına baxılır. Bu model populyasiyasında sayın dəyişməsi $x(t)$ ancaq iki amillə təyin edilir: *doğum sayı və təbii ölüm sayı ilə.* Onda artmanı aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\Delta x = (\alpha \cdot x - \beta \cdot x) \cdot \Delta t, \quad (6.5)$$

burada α və β - müvafiq olaraq doğum sayı və ölüm sayı əmsallarıdır.

$\alpha - \beta = \varepsilon$ ilə idadə edək. (6.5) düsturunun tərəflərini Δt -yə bölək və $\Delta t \rightarrow 0$ vaxtı limitə keçək. Onda $x(t_0) = x_0$ başlanğıc şərti ilə aşağıdakı differensial tənliyi almaq olar:

$$dx/dt = \varepsilon t. \quad (6.6)$$

(6.6) differensial tənliyi populyasiyanın biokütləsinin dəyişməsi prosesinin riyazi modelindən ibarətdir. Başlanğıc şərt nəzərə alınmaqla, məsələnin xüsusi həllini yazaq:

$$x(t) = x_0 \cdot e^{\varepsilon(t-t_0)}. \quad (6.7)$$

Şübhəsiz ki, təbii populyasiya öz sayını eksponent üzrə artırır. Burada təqdim olunmuş model ancaq onu göstərir ki, əgər onu sıxışdırmasaydılar və qeyri-məhdud yemləsəydilər, populyasiya belə inkişaf edə bilərdi.

Yuxarıda göstərilən şərtlərlə bərabər, populyasiyada fərdlərin sayı vaxta görə dəyişir. Əgər, mövcudluq şəraiti əlverişlidirsə, onda doğum hallarının sayı ölüm hallarının sayını üstələyəcək və vaxt keçdikcə populyasiyada fərdlərin ümumi sayı artacaq. Tutaq ki, $v(t)$ – populyasiyanın artma sürətidir və $v(t)$ məlumdursa, onda t_1 -dən t_2 -yə qədər say artımını aşağıdakı ifadə ilə hesablamaq olar:

$$\int_{t_1}^{t_2} v(t) dt = N(t_2) - N(t_1), \quad (6.8)$$

burada $N(t) - v(t)$ üçün başlanğıc formadır.

Məsələn, qeyri-məhdud şəraiti inkişaf edən kənd təsərrüfatı bitkisini yeni qida maddəli mühitə əkməklə, yaratmaq olar. (6.8) düsturunu tətbiq etməklə, aşağıdakı tənliyi almaq olar:

$$N(t_1) = N(t_0) + a \int_{t_0}^{t_1} e^{kt} dt = N(t_0) + \frac{a}{k} \left(e^{kt_1} - e^{kt_0} \right), \quad (6.9)$$

burada a və k asanlıqla α , β və ε vasitəsilə ifadə olunurlar.

6.3. Populyasiyaların sayının məhdudlaşdırılmış artımının modeli

Populyasiyaların artmasını məhdudlaşdıran sistemli amili ilk dəfə olaraq Ferxyüst 1848-ci ildə logistik artma tənliyi vasitəsilə yazmışdır:

$$\frac{dx}{dt} = r \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{k}\right). \quad (6.10)$$

Bu tənlik iki vacib xassəyə malikdir. x -in kiçik qiymətlərində populyasiyanın sayı (x) eksponensial olaraq artır, kiçik qiymətlərində isə müəyyən bir K (populyasiyanın tutumu adlanır) həddinə yaxınlaşır. K kəmiyyəti qida ehtiyatlarının, yuva qurmaq üçün yerlərin və bir çox digər amillərin məhdudluğu ilə təyin olunur və onlar müxtəlif növlər üçün müxtəlif ola bilər. Beləliklə, ekoloji məskənin tutumu sistem amilidir və baxılan yaşayış mühit arealında populyasiyaların artmasının məhdudluğunu təyin edir.

(6.9) tənliyini yenidən belə yazmaq olar:

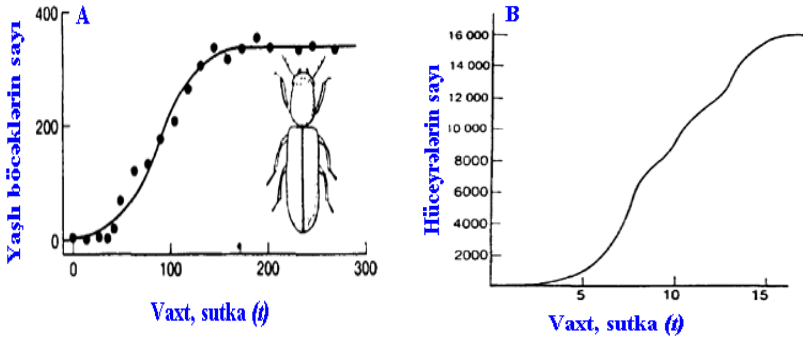
$$\frac{dx}{dt} = rx - \delta x^2, \quad (6.11)$$

burada δ – növ daxili rəqabət (qida ehtiyatına görə, sığınacağa görə və s.) əmsəlidir.

(6.10) tənliyini analitik yolla həll etmək olar və onun həlli belədir:

$$x(t) = \frac{x_0 K e^{rt}}{K - x_0 + x_0 e^{rt}} \quad (6.12)$$

(6.11) düsturu kinetik əyrini, yəni, populyasiyanın sayının zamandan asılılığını təsvir edir. Logistik qanuna görə inkişaf edən eksperimental müşahidə olunmuş populyasiyaların dinamikalarının nümunələri şəkil 6.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 6.3. Məhdudlaşmış artma, A) hər həftə 10-qramlıq buğda dənə əlavə olunan tutumda *Rhizopertha dominica* böcəyinin sayının dinamikası (nöqtələr eksperimental məlumatlardır, bütöv xətt isə logistik əyitdir; B) *Chlorella* yosununun say dinamikası

6.4. Populyasiyaların dinamikasının diskret modelləri

Qeyd etmək lazımdır ki, bir neçə il ardıcıl çoxalan populyasiyalarda (məməlilər və quşlar, çoxillik bitkilər) çoxalma mövsümlərinin mövcudluğu müəyyən qədər sayın tənzimlənməsi prosesinə gecikdirici təsir göstərir. Əgər, yetkin fərdlər baxılan ildə çoxalmada iştirak ediblərsə, lakin növbəti ildə çoxalmaya təsir göstərməyə qədər ölərlərsə, onda belə hal onların say dinamikasına əhəmiyyətli təsir göstərəcək. Bu halda aşağıdakı tənliyi yazmaq olar:

$$N_{n+1} = N(x_n), \quad (6.13)$$

burada N_n – n ilində populyasiyanın sayıdır.

Say dinamikaları üzərində müşahidələr göstərir ki, belə sistemlərdə sayın az olan hallarında N bir generasiyadan digərinə artır, yüksək olan hallarında isə - azalır. Bu xassə, yəni az N hallarında kəskin artma və böyük N hallarında kəskin azalma iqtisadiyyatda özünü “gurultulu inkişaf və azalma” qanunu kimi biruzə verir. Belə hallarda modeldə istifadə olunan funksiya

birekstremlidir və onlar müxtəlif düsturların kəməyi ilə yazıla bilər. Onlardan ən geniş yayılanı həşəratların sayı üçün Moran tərəfindən 1950-ci ildə, balıq populyasiyaları üçün isə Riker tərəfindən 1954-cü ildə təklif olunmuş diskret logistik tənliyin versiyasıdır:

$$N_{n+1} = N \cdot \exp \left\{ r \left(1 - \frac{N_t}{K} \right) \right\}. \quad (6.14)$$

Aşağıda qeyri-məhdud və məhdud tək-tək populyasiyaların say dinamikasının diskret modelinin qurulması nümunəsi verilmişdir.

1) *Qeyri-məhdud sayda tək-tək populyasiyaların say dinamikasının diskret modeli.* Tutaq ki, n vaxt dövründə populyasiyanın artma sürəti bu dövrün başlanğıcında populyasiyanın sayına mütənasibdir, yəni:

$$\Delta x_n = x_{n+1} - x_n = a \cdot x_n. \quad (6.15)$$

Onda növbəti vaxt anı üçün populyasiyanın sayı aşağıdakı düsturla təyin olunacaq:

$$x_{n+1} = (1+a) \cdot x_n. \quad (6.16)$$

(6.16) düsturuna görə yazmaq olar:

$$\begin{aligned} x_1 &= (1+a) \cdot x_0 \\ x_2 &= (1+a) \cdot x_1 = (1+a) \cdot (1+a) \cdot x_0 = (1+a)^2 \cdot x_0 \\ x_3 &= (1+a) \cdot x_2 = (1+a) \cdot (1+a) \cdot (1+a) \cdot x_0 = (1+a)^3 \cdot x_0 \\ &\dots\dots\dots \\ x_n &= (1+a)^n \cdot x_0. \end{aligned}$$

Beləliklə, x_0 başlanğıc qiymətləri məlumdursa, vaxta görə populyasiyaların say dinamikasını hesablamaq olar. $r=a+1$ artma əmsalından asılı olaraq aşağıdakı vəziyyətlər ola bilər:

- 1) $a > 0$, $(1+a) > 1 \rightarrow (1+a)^n \rightarrow \infty$ ($n \rightarrow \infty$ halında) – qeyri-məhdud artma;
- 2) $a=0$, $1+a=1$ – populyasiyanın sayı dəyişmir;

- 3) $-1 < a < 0$, $0 < 1 + a < 1 \rightarrow x_n \rightarrow 0$ – populyasiyanın ölməsi;
 4) $a = -1$ – bir vaxt dövründə ölmə;
 5) $a < -1$ – sayın mənfi olması (həqiqi vəziyyət deyil).
 (6.13) tənliyini belə də yazmaq olar: $x_{n+1} = r \cdot x_n$.

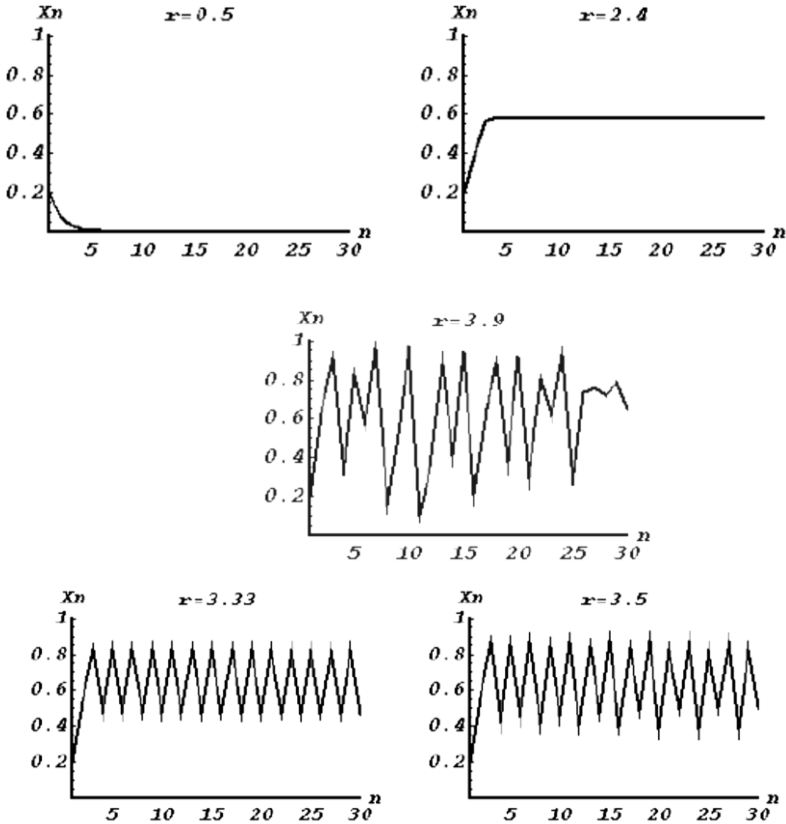
1) *Məhdud sayda tək-tək populyasiyaların say dinamikasının diskret modeli.* Diskret modellərin klassik nümunələrindən biri tək limitləşdirilmiş populyasiya üçün logistik fərq tənliyidir. Bu vaxt alınan sistemin dinamikası özünə həm sadə və ya tənzimlənmiş, həm də mürəkkəb və xaosik real populyasiya sistemlərinin bütün növ müxtəlifliyinin davranışını daxil edir. Sadə davranışdan xaosa keçid populyasiyanın müxtəlif modellərinə və ya müxtəlif mürəkkəb dinamik sistemlərə xas olan oxşar qanunauyğunluqlara malikdir. 1-ci haldan fərqli olaraq reallıqda heç bir populyasiya qida ehtiyatlarının məhdudluğu və digər məhdudlaşdırıcı xarici amillər səbəbindən sonsuzluğa qədər arta bilməz. Bu halı nəzərə almaq üçün artıma məhdudluq şərti qoyaq. Tutaq ki, r artım əmsalı populyasiyanın sayından asılı olacaq, yəni, populyasiyanın sayı artıqca $r \sim r(1-x_n)$ qanununa görə azalacaq. Onda yazmaq olar:

$$x_{n+1} = x_n \cdot r(1 - x_n), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (6.17)$$

(6.17) tənliyi logistik tənlik və ya Ferxyüst-Pirl modelinin analoqu adlanmaqla, populyasiyanın dinamikası ilə bərabər, təbiətdəki və cəmiyyətdəki bir çox başqa hadisələri də təsvir edə bilər. Qeyd etmək olar ki, (6.17) tənliyində x kəmiyyəti 0-dan 1-ə qədər, r isə 0-dan 4-ə qədər dəyişir, onların digər qiymətlərində isə tənlik populyasiyaların sayının mənfi qiymətini verir.

Populyasiyanın artmasının təbii sürəti r -in və onun başlanğıc sayının x_0 müxtəlif qiymətlərini verməklə, (6.17) fərq tənliyini təmin edən dəyişən kəmiyyətin davranışının keyfiyyətə müxtəlif növlərini almaq olar.

Şəkil 6.4-də $x_0=0.2$ şərtində r parametrinin müxtəlif qiymətləri üçün x_n –nin vaxt dövründən (n) asılılığı qrafikləri göstərilmişdir.



Şəkil 6.4. r parametrinin müxtəlif qiymətləri üçün x_n –nin vaxt dövründən (n) asılılığı

Qrafiklərdən aşağıdakıları müəyyənləşdirmək olar:

- 1) $r=0.5$ – vaxtın bir neçə dövrü ərzində populyasiyanın nəslı kəsilməyə başlayır ($x \rightarrow \infty$ olduqda $x_n=0$);
- 2) $r=2.4$ – populyasiya stasionar qiyməti müşahidə olunur ($x_n=0.5833$);
- 3) $r=3.33$ – populyasiya sayının son qiyməti qiymətləri 0.829635 və 0.470666 olan iki səviyyə arasında osillasiyalı hə-

rəkət edir, yəni bu periodu 2-yə bərabər olan dövrü hərəkətdir. r artıqca sistemin dinamikası mürəkkəbləşir;

4) proses periodu 4 olan dayanıqlı periodik tərəddüdlərə gəlib çıxır (populyasiyaların sayının tarazlaşmış qiymətləri: $x_n=0.874997; 0.500887; 0.826939; 0.382818$);

5) $r=3.9$ – proses artıq dövrü proses deyil;

6) vaxt dövrünün nömrəsinin qiyməti artıqca populyasiyanın sayı yeni təkrarlanmayan qiymətlər alır. Belə davranış qeyri-müntəzəm və xaotik adlanır.

6.5. Növ daxili rəqabətin diskret və loqistik modelləri

Növ daxili rəqabətin diskret modelləşdirilməsi. Burada populyasiyaların diskret dövrlü çoxalma növünə baxılır, t vaxt anında populyasiyanın sayı N -ə bərabərdir və təkrar istehsalın təmiz sürətinin əsas kəmiyyətinə R mütənasib olaraq vaxta görə dəyişir. Belə növlərə əksər bitki növlərini, bir sıra həşərat növlərini aid etmək olar və onlarda müxtəlif nəsillər aydın olaraq vaxta görə ayrı-ayrı hissələrə bölünüb. R əmsali fərdlərin sayını xarakterizə edir. Bu modeli belə yazmaq olar:

$$N_{t+1} = N_t \cdot R. \quad (6.18)$$

(6.18)-in həlli isə aşağıdakı kimidir:

$$N_t = N_0 \cdot R^t, \quad (6.19)$$

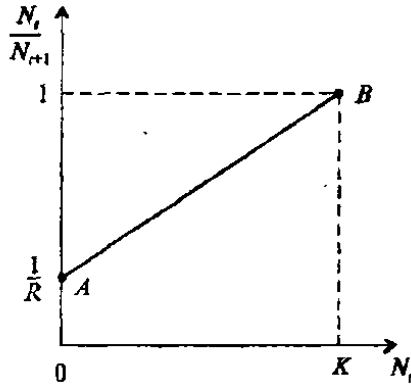
burada N_0 - populyasiyanın başlanğıc sayıdır.

Lakin, bu model, rəqabətin olmadığı populyasiyanı təsvir edir və R sabit kəmiyyətdir, əgər $R > 1$ olarsa, onda populyasiyanın sayı sonsuz olaraq artacaq. Reallıqda isə müəyyən bir anda populyasiyanın artmasını dayandırmağa çalışan mexanizmlər işə düşəcək. Beləliklə, ilk növbədə (6.19) tənliyini elə dəyişmək lazımdır ki, təkrar istehsalın təmiz sürəti növdaxili rəqabətdən asılı olsun. Burada rəqabəti hər-hansı bir orqanizmin müəyyən bir ehtiyatın (qidanın, suyun, işığın, məkanın) istifadəsi kimi təyin etmək olar. Bununla da həmin ehtiyatın digər orqanizmlər üçün əldə olunması ehtimalı azalır. Əgər rəqabət aparan orqanizmlər bir növə aiddirlərsə, onda onlar arasındakı

qarşılıqlı münasibətlər *növdaxili rəqabət* adlanır. Əgər onlar müxtəlif növlərə aid olduqda isə *növarası rəqabət* adlanır.

Şəkil 6.5-də populyasiyanın artmasının onun sayından asılılığının ən sadə mümkün nümunəsi göstərilmişdir. *A* nöqtəsi populyasiyanın sayının praktiki olaraq sıfıra yaxınlaşması halını göstərir. Bu vaxt rəqabət demək olar ki, yoxdur və artmanın faktiki sürətini ilkin şəkildə nəzərə almaqla *R* parametri ilə təsvir etmək olar. Deməli, populyasiyanın aşağı sıxlığında (6.19) tənliyi demək olar ki, ədalətlidir. Yenidən qurulmuş for-

mada bu ifadə belə olacaq: $\frac{N_t}{N_{t+1}} = 1/R$.



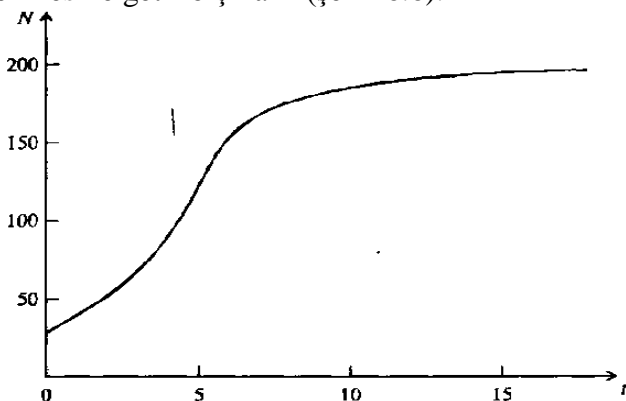
Şəkil 6.5. Populyasiyanın böyüməsi sürətinin məhdudluğu məsələsinə aid qrafik

B nöqtəsi isə əksinə, populyasiyanın sayının yüksək olduğu vəziyyəti təsvir edir və növdaxili rəqabət əhəmiyyətli dərəcədə özünü biruzə verir. Rəqabət nəticəsində növün artmasının faktiki sürəti o qədər azalır ki, populyasiya hər bir nəsildə öz sayını bərpa edə bilmir, buna görə də doğulan fərdlərin sayı, ölənlərin sayı ilə tarazlaşır. Şəkil 6.5-də əks olunan fərziyyəyə aşağıdakı tənlik müvafiq gəlir.

$$N_{t+1} = \frac{N_t \cdot R}{1 + a \cdot N_t}, \quad (6.20)$$

burada $a = \frac{R-1}{K}$.

(6.20) tənliyi burada növdaxili rəqabətlə məhdudlaşan populyasiyanın artması modelini təmsil edir. Bu modelin məğzi ondan ibarətdir ki, (6.18) tənliyində R sabiti say artımının faktiki sürəti ilə əvəzlənmişdir, yəni, $\frac{R}{1+a \cdot N_t}$, bu sürət populyasiyanın sayının N_t artması ilə - azalır. Alınmış tənliyin üstünlükləri onun sadəliyindədir. Belə növ rəqabət populyasiyanın özünü tənzimlənməsinə gətirib çıxarır (şəkil 6.6).



Şəkil 6.6. $R = 2, K = 200, N_0 = 20$ halında (6.20) tənliyində müvafiq olaraq populyasiyanın sayının dəyişməsi

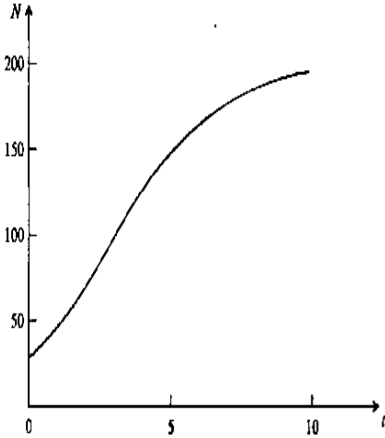
(6.20) tənliyində çox da mürəkkəb olmayan dəyişiklikdən sonra rəqabətin intensivliyini nəzərə alan daha geniş əhatəli ümumi modeli almaq olar. Şəkil 6.5-də təsvir olunmuş populyasiyanın böyüməsi sürətinin aşağı düşməsinin onun sayından ən sadə asılılıq formalarından təbiətin qanununun deyil, onun sadəcə rahat fərziyyəsidir. Qeyd etmək olar ki, növdaxili rəqabətlə təyin olunan populyasiyanın sayının real dinamikası heç də həmişə şəkil 6.6-dakı təsvirlə keyfiyyətcə uyğun olmur.

Populyasiyanın böyüməsinin sürətinin azalmasının onun sayından asılılığının qanunu barədə ümumi fərziyyə aşağıdakı tənliyə gətirib çıxarır:

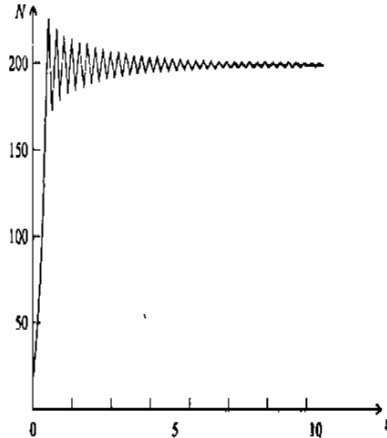
$$N_{t+1} = \frac{N_t}{1+(a \cdot N_t)^b} \quad (6.21)$$

(6.20) tənliyindən fərqli olaraq bu modelin ümumiliyi modelə b parametrinin daxil edilməsi ilə şərtləndirilir. Bu parametr populyasiyanın böyüməsi sürətinin azalması onun sayından asılılığının növünü təyin edir. a , b , R kəmiyyətlər toplusunu müxtəlif fərqli situasiyaların müqayisəsi və bir-birinə qarşı qoyulması üçün istifadə etmək olar. (6.21) tənliyinin digər müsbət keyfiyyətinə onun real dünyanın yeni tərəflərini işıqlandırması xüsusiyyətidir. Onun köməyi ilə alınan populyasiyaların dinamikası ayrı-lərini təhlil etmək yolu ilə təbiət populyasiyalarının dinamikalarına nisbətən ilkin nəticələrə gəlmək olar.

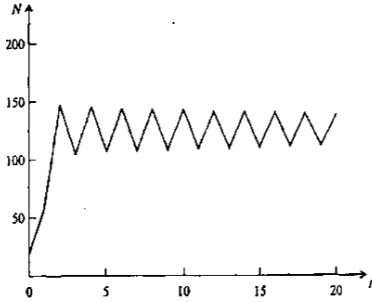
Ədədi modelləşdirmənin köməyi ilə şəkil 6.7, a , b , c və ζ -də qurulan əyri-lərdə b və R parametrlərinin müxtəlif birgəlikləri hallarında (6.21) tənliyinin köməyi ilə alınmış populyasiyaların dinamikalarının müxtəlif variantları göstərilmişdir.



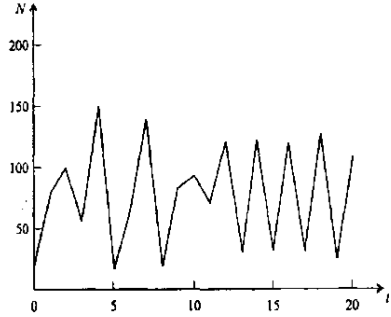
Şəkil 6.7, a. $b = 1,4$, $R = 2$ halında populyasiyanın stasionar sayının monoton bərqərar edilməsi



Şəkil 6.7, b. $b = 3,9$, $R = 2$ halında populyasiyanın stasionar sayının tərəddüdü bərqərar edilməsi



Şəkil 6.7, c. $b = 3,6$, $R = 4$ halında populyasiyanın stasionar sayının dəyişməsinin dayanıqlı mümkün ola bilən dövrləri



Şəkil 6.7, ç. $b = 4,4$, $R = 4$ halında populyasiyanın sayının təsadüfi dəyişmələri

Bu modellər diskret dövrlü çoxalan populyasiyalara tətbiq olunur. Lakin, təbiətdə elə hallara rast gəlinir ki, populyasiyaların doğulması və ölməsi fasiləsiz olaraq baş verir. Belə populyasiyalar üçün yuxarıda göstərilən tənlikləri tətbiq etmək olmaz. Burada fasiləsiz artan populyasiyaya baxılır və onun sayının dəyişməsi modelini aşağıdakı kimi təsvir etmək olar. Burada riyazi aparat qismində differensial tənliklərdən istifadə olunur. Bu halda artım sürətini $\frac{\partial N}{\partial t}$ kimi ifadə edək, onda bir

fərd üçün sayın artmasının orta sürəti belə ifadə olunacaq:

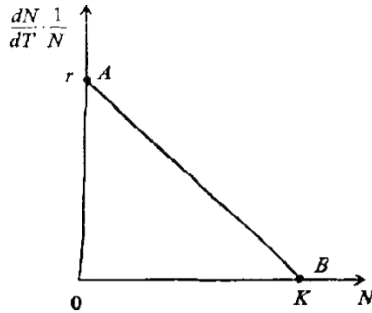
$\frac{\partial N}{\partial t} \cdot \frac{1}{N}$. Növdaxili rəqabəti nəzərə almadan yazmaq olar:

$$\frac{\partial N}{\partial t} \cdot \frac{1}{N} = r \text{ və ya } \frac{\partial N}{\partial t} = r \cdot N.$$

r vasitəsilə sayın artmasının ani xüsusi sürəti, yəni, bir fərd üçün vahid zamanda sayın artması işarə olunub. Bu modelə müvafiq olaraq, növdaxili rəqabət nəzərə alınmadığı üçün, bu modelə müvafiq olaraq populyasiyanın sayı $r > 0$ halında sonsuz olaraq artacaq, yəni eksponensial artım müşahidə olunacaq.

İndi isə növdaxili rəqabətin nəzərə alınmasını həyata ke-

çirək. Bunun üçün şəkil 6.5 üçün tətbiq olunan üsuldən istifadə edək. İlk əvvəl şəkil 6.8-ə baxaq. Buradan görünür ki, populyasiyanın sayı sifıra yaxın olduqda, artım sürəti r ilə təyin olunacaq, belə ki, rəqabət hələlik populyasiyanın artma sürətinə təsir etmir (nöqtə A). N -nin artması halında K kəmiyyətinə (maksimal sıxlıq halı) çatdıqda, populyasiyanın artma sürəti sifıra qədər (B nöqtəsi) azalır.



Şəkil 6.8. Populyasiyanın yenidən istehsalı sürətinin onun sayından asılılığı

AB düz xəttinin tənliyini yazmaqla, aşağıdakını almaq olar:

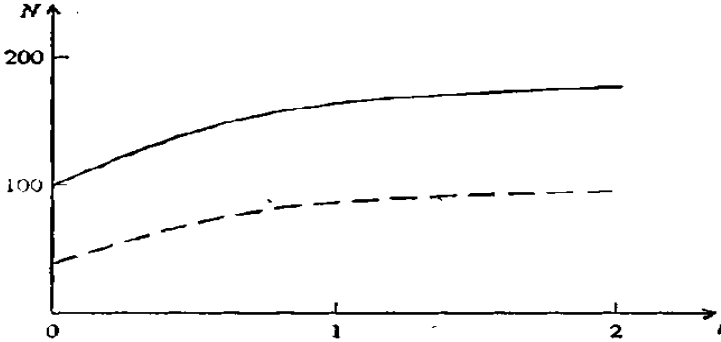
$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N \cdot \left(\frac{K - N}{K} \right). \quad (6.22)$$

(6.22) tənliyi “logistik” tənlik adı kimi məlumdur. Onun ən əsas üstünlüklərindən biri – sadəliyidir. Bu tənlik standart tənlik növlərindən birinə aiddir və analitik həllini mümkün hesab etmək olar:

$$N(t) = \frac{KN_0}{N_0 + (K - N_0)e^{-rt}} \quad (6.23)$$

Növ daxili rəqabətin loqistik modeli. Ekologiyanın tarixində logistik tənliklər əhəmiyyətli rol oynayaraq, ekologiyada riyazi üsulların tətbiqinə böyük təsir göstərmişdir. Digər tərəf-

növə cəmi təsiri əks etdirmək üçün logistik tənliyinin kəsrinin sürətində N əvəzinə $N_1 + \alpha_{12} \cdot N_2$ yazmaq. İkinci populyasiyanın sayının tədqiqi üçün analoji tənlik alınır. Nəticədə iki differensial tənlikdən ibarət aşağıdakı sistemi almaq olar:

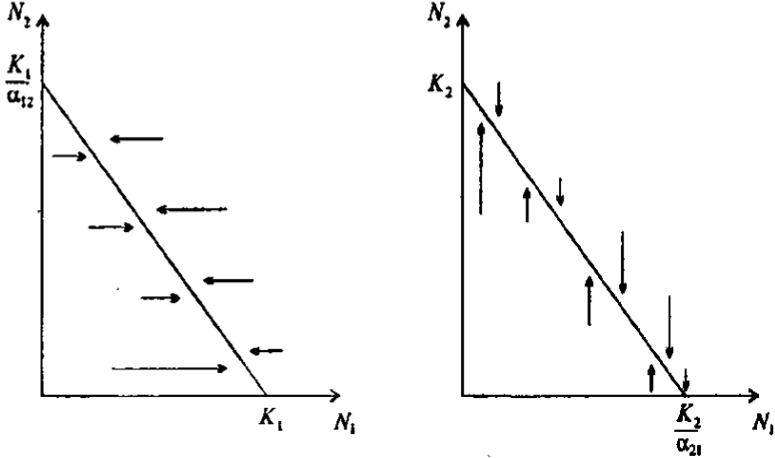


Şəkil 6.10. $r_1 = 2, r_2 = 4, K_1 = 200, K_2 = 180, \alpha_{12} = 0,5,$
 $\alpha_{21} = 0,65, N_1^{(0)} = 100, N_2^{(0)} = 25$ hallarında populyasiyaların dayanıqlı birgə mövcudluğu. Dayanıqlı birgə mövcudluğa ancaq $\alpha_{12} \cdot \alpha_{21} < 1$ halında çatılır. Tam xətt -1-ci populyasiyanın sayı, strixli xətt – 2-ci populyasiyanın sayıdır

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = r_1 \cdot N_1 \cdot \frac{K_1 - N_1 - \alpha_{12} \cdot N_2}{K_1} \\ \frac{dN_2}{dt} = r_2 \cdot N_2 \cdot \frac{K_2 - N_2 - \alpha_{21} \cdot N_1}{K_2} \end{cases} \quad (6.24)$$

(6.24) sistemi ilə ifadə olunan növarası rəqabət modeli onun müəlliflərinin şərəfinə “Lotka-Volterra” modeli adlanır. Qeyd etmək olar ki, əgər α_{12} və ya α_{21} vahiddən böyükdürsə, onda rəqabət aparən populyasiya tərəfindən baxılan növün fərdinə təsiri daha böyükdür, nəinki, öz növünün fərdi tərəfindən. Bu vaxt tədqiqatçını maraqlandıran başlıca sual hansı hallarda baxılan hər bir növün sayının artması və ya azalmasıdır. Bu suala cavab vermək üçün hər iki növün saylarının bütün mümkün məcmusunun diaqramları əks olunan diaqram qurmaq lazımdır. Belə diaqramlarda bir növün sayı üfüqi, o biri növün sayı isə

şaquli ox üzərinə köçürülür. Növlərin sayının bir məcmusunda müşahidə üçün seçilmiş populyasiyanın sayı artacaq, digər məcmusunda isə onun sayı azalacaq. Həmçinin, hər bir növ üçün izoklinlər çəkmək olar və onların oxu boyu sayın nə artması, nə də azalması müşahidə olunur (şəkil 6.11).



Şəkil 6.11. Lotka-Volterra modelinin köməyi ilə alınmış izoklinlər. Oxların uzunluğu sayın dəyişməsinə mütənəsibdir, oxlar isə dəyişmənin istiqamətini göstərir

İndi isə birinci növ üçün izoklinin qurulması qaydasına baxaq. Təyinatına görə bu xəttin tənliyi belə olacaq $\partial N/\partial t=0$. (6.24) sisteminin birinci tənliyindən almaq olar:

$$r_1 \cdot N_1 \cdot (K_1 - N_1 - a_{12} \cdot N_2) = 0.$$

Bu şərt o vaxt yerinə yetiriləcək ki, onun vuruqlarından biri sıfıra bərabər olsun. Bu halda ən böyük maraq doğuran situasiyadan biri $K_1 - N_1 - a_{12} \cdot N_2 = 0$ və ya $N_1 = K_1 - a_{12} \cdot N_2$ halıdır.

6.6. Növlərarası rəqabətin riyazi modelləşdirilməsi

Volterra tərəfindən öyrənilmiş sistemlər bir neçə bioloji növdən və qida ehtiyatlarından ibarətdir. Bu vaxt sistemin komponentləri barədə aşağıdakı ehtimallar formalaşır.

1. Qida ehtiyatları ya məhdudiyətsiz miqdardadır, ya da onların istifadəsi vaxt keçdikcə ciddi nizamlanmaya məruz qalır;

2. Hər bir növün fərdi elə yox olub gedirlər ki, vahid zamanda mövcud fərdlərin sabit payı ölürlər;

3. Yırtıcı növlər qurbanları yeyir, bununla belə, yeyilmiş qurbanların miqdarı həmişə bu iki növün fərdlərinin görüşmə halına, yəni, yırtıcıların miqdarının qurbanların miqdarına hasilinə mütənasibdir;

4. Əgər, qida qeyi-məhdud formada mövcuddursa və onları yeyə biləcək bir sıra populyasiya növü varsa, onda hər bir növün vahid zamanda yediyi qidanın miqdarı növdən asılı olan müəyyən bir əmsalə götürməklə həmin növün fərdlərinin miqdarına mütənasibdir.

6. Əgər, növ qeyri-məhdud miqdarda qida ilə qidalanırsa, onda onun çoxalması qidanın yeyilməsi sürəti ilə tənzimlənir, yəni, vahid zamanda artım yeyilmiş qidanın miqdarına mütənasibdir.

Sayılan bu fərziyyələr mürəkkəb canlı sistemləri adi differensial tənliklər sistemi vasitəsilə təsvir etməyə imkan verir. Məlumdur ki, belə tənliklərlə həm də kimyəvi reaksiya sistemləri təsvir olunur. Kimyəvi və ekoloji modellərdəki tənliklərin belə oxşarlığı populyasiyaların kinetikasının riyazi modelləşdirilməsi vaxtı kimyəvi reaksiyalar sistemi üçün tətbiq olunan tədqiqat sistemlərini istifadə etsin.

Burada iki növ populyasiya arasında rəqabətə baxılarkən, onların eyni qidadan istifadə olunduğu, eyni zamanda qidanın məhdudlaşdırıcı amil olması qəbul edilir. Bu vaxt hesab olunur ki, mövcud qidanın miqdarı hər iki növün qidaya olan tələbatını tam təmin etmək üçün kifayət qədərdir. Onlar üçün sabit müsbət çoxalma əmsalları ε_1 və ε_2 mövcuddur. Real vəziyyətdə isə hər iki növ məhdud ərazidə yaşadığı üçün, onların sayı N_1 və N_2 artdıqca, qidanın miqdarı azalacaq, bu, isə çoxalma əmsalının azalmasına gətirib çıxaracaq.

Tutaq ki, $F(N_1, N_2)$ funksiyası hər iki populyasiya növünün vahid zamanda yediyi qıdanın miqdarıdır. γ_1 və γ_2 müsbət sabitlər isə müvafiq olaraq hər iki növün “*acgözlük*” əmsallarıdır və onların müvafiq qidaya tələbatını göstərir. Onda, populyasiyaların çoxalma əmsallarını ε_1 və ε_2 kimi yox, belə yazmaq olar:

$$\varepsilon_1 - \gamma_1 \cdot F(N_1, N_2) \quad \text{və} \quad \varepsilon_2 - \gamma_2 \cdot F(N_1, N_2). \quad (6.25)$$

Buradan populyasiyaların inkişafını təsvir edən differensial tənliklər sistemini almaq olar:

$$\begin{aligned} \frac{dN_1}{dt} &= [\varepsilon_1 - \gamma_1 \cdot F(N_1, N_2)] \cdot N_1 & \text{və} \\ \frac{dN_2}{dt} &= [\varepsilon_2 - \gamma_2 \cdot F(N_1, N_2)] \cdot N_2. \end{aligned} \quad (6.26)$$

(6.26) tənliyinə görə elə $N_1^i > N_1^0$ və $N_2^i > N_2^0$ şərtləri olur ki, aşağıdakı ifadələri yazmaq mümkündür:

$$F(N_1^i, 0) > \frac{\varepsilon_1}{\gamma_1} \quad \text{və} \quad F(N_2^i, 0) > \frac{\varepsilon_2}{\gamma_2}. \quad (6.27)$$

burada N_1^0 və N_2^0 - müvafiq olaraq 1-ci və 2-ci populyasiyanın başlanğıc vaxt anında sayları; N_1^i və N_2^i - müvafiq olaraq 1-ci və 2-ci populyasiyanın i vaxt anında sayları; ε_1/γ_1 və ε_2/γ_2 - müvafiq olaraq 1-ci və 2-ci populyasiyanın qida çatışmazlığına həssaslığını xarakterizə edən nisbətlərdir (məsələn, bu nisbətlər az olduqca populyasiya növü qida çatışmazlığına çox həssasdır).

Müəyyən təhlillər və (6.27) sisteminin tədqiqi onu deməyə imkan verir ki, ε/γ nisbəti az olan populyasiya vaxt keçdikcə yoxa çıxacaq, daha böyük olanı isə yaşamaqda davam edəcək.

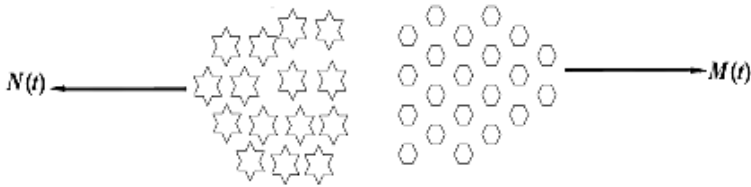
6.7. “Yırtıcı-qurban” tipli modellər

Ekoloqlar yırtıcı və qurban populyasiyalarının sayının dinamikasını tədqiq edərkən, hər şeydən əvvəl bu proseslərin qa-

nunauyğunluqlarını başa düşməyə və dinamikanın növləri arasında fərqləri izah etməyə çalışırlar.

“Yırtıcı-qurban” və ya “parazit-sahib” növlü modellər bioekologiyanın klassik modelləridir, onları populyasiyaların bir neçə növünün qarşılıqlı təsirlərinin tipik olmayan hallarının öyrənilməsi üçün tətbiq edirlər. “Yırtıcı-qurban” tipli model nəzəri ekologiyanın ilk modellərindən biridir. Xüsusi hal kimi, onlar mikrobiologiyada da geniş tətbiq sahəsi tapmışlar.

“Yırtıcı-qurban” tipli modellərin qurulması üçün nümunə kimi göstərilən belə bir bioloji sistemə baxaq. Tutaq ki, təbitdə canlı orqanizmlərin iki populyasiyası mövcuddur: yırtıcı populyasiyası və onlar üçün qida rolunda çıxış edən qurban populyasiyası. Nəticədə iki komponentli populyasiyanı almaq olar (şəkil 6.12).



Şəkil 6.12. İki komponentli populyasiyanın modeli:

N – qurban populyasiyasında fərdlərin sayı;

M – yırtıcı populyasiyasında fərdlərin sayı

Ən sadə modellərdə yırtıcı və qurbanın bir-birinə təsiri olmayan hallara baxılır. Bu sahədə ən birinci və sadə modellərdən biri yenə də Lotka və Volterra tərəfindən təklif olunmuşdur.

Model iki komponentdən ibarətdir: C – yırtıcı populyasiyanın sayı; N – qurban populyasiyasının sayı. Bu vaxt hesab olunur ki, yırtıcı olmadıqda qurban populyasiyasının sayı eksponensial olaraq artır. Bu və ya digər populyasiyanın sayı nə qədər çox olarsa, onda onların rastlaşması daha tez-tez baş verəcək. Rast gəlinən və yeyilən qurbanın sayı yırtıcının qurbanı tapması və onu tutması səmərəliliyindən asılı olacaq. Əgər,

“axtarmanın səmərəsini” a' ilə işarə etsək, onda qurbanın ye-yilməsi sürəti $a' \cdot C \cdot N$ bərabər olacaq və sonda qurbanın sayı üçün aşağıdakı ifadə alınır.

$$\frac{dN}{dt} = r \cdot N - a' \cdot C \cdot N. \quad (6.28)$$

Qida olmadıqda ayrı-ayrı fərdlər aclıq keçirir və ölürlər. Yenə hesab edək ki, qida olmayan halda yırtıcının sayı aşağıdakı kimi azalacaq:

$$\frac{dC}{dt} = -q \cdot C, \quad (6.29)$$

burada q –ölüm halıdır.

Bu modeldə yeni fərdlərin doğulması sürəti iki vəziyyətdən asılı olması nəzərdə tutulur: 1) qidanın qəbul edilməsi sürəti - $a' \cdot C \cdot N$; 2) bu qidanın yırtıcının nəsilinə keçməsinin səmərəliliyi f . Beləliklə, yırtıcının sayı üçün yekun olaraq aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$\frac{dC}{dt} = f \cdot a' \cdot C \cdot N - q \cdot C. \quad (6.30)$$

Belə proseslərə bir yerdə baxmaq lazımdır, buna görə də hər iki tənliyi bir sistemdə birləşdirmək olar:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = r \cdot N - a' \cdot C \cdot N \\ \frac{dC}{dt} = f \cdot a' \cdot C \cdot N - q \cdot C \end{cases}. \quad (6.31)$$

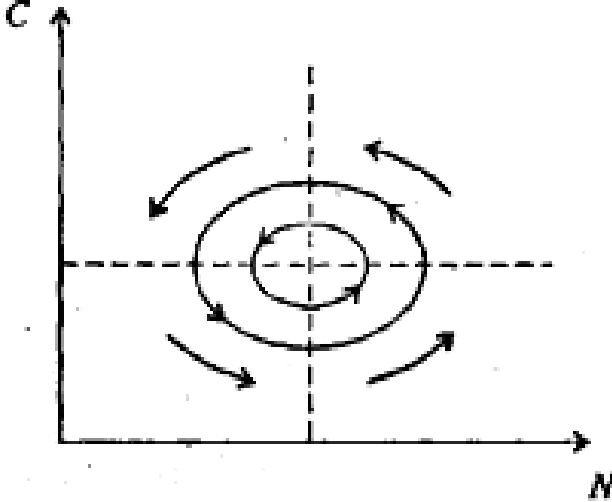
İzoklinləri qurmaqla bu modelin xassələrini tədqiq etmək mümkündür. Qurban üçün yazmaq olar:

$$\frac{dN}{dt} = 0, \quad r \cdot N - a' \cdot C \cdot N = 0. \quad (6.32)$$

Və ya C üçün almaq olar:

$$C = \frac{r}{a}. \quad (6.33)$$

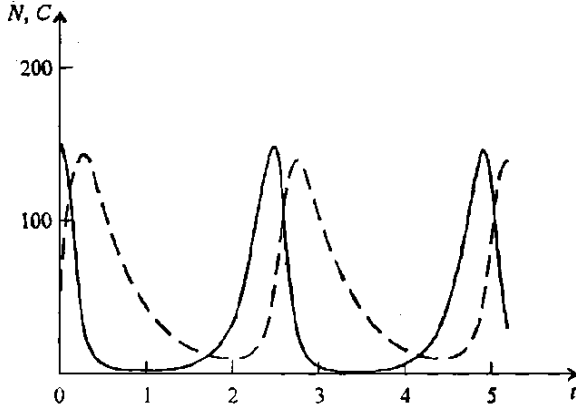
Əgər hər iki izoklini bir şəkildə yerləşdirmək olsa, onda populyasiyaların qarşılıqlı təsiri şəklini almaq olar (şəkil 6.13).



Şəkil 6.13. Yırtıcı və qurban populyasiyalarının sayının dinamikası

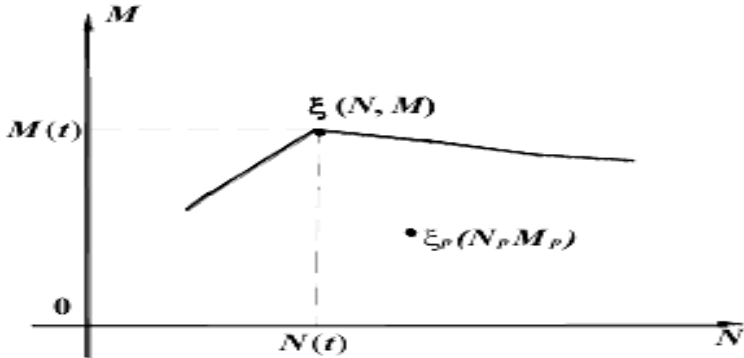
Şəkil 6.14-dən görünür ki, ümumilikdə yırtıcı və qurban populyasiyalarının sayı dövrü tərəddüd qanunauyğunluğu ilə dəyişir: məsələn, yırtıcının sayının artması vaxtı, qurbanın da sayı artır və əksinə. Modelə uyğun olaraq onların sayının tərəddüdləri o vaxta qədər davam edəcək ki, hər hansı bir xarici təsir populyasiyaların sayını dəyişdirmir. Bundan sonra, yeni dayanıqlı vəziyyətə keçilir.

İndi isə “yırtıcı-qurban” modelində onların qarşılıqlı təsirlərinə baxaq. İki komponentli populyasiyanı həndəsi olaraq ONM müstəvisində ξ nöqtəsi kimi qeyd edək. ξ nöqtəsinin ON oxuna proyeksiyası qurbanın sayı, OM oxuna proyeksiyası isə yırtıcının sayını göstərir (şəkil 6.15).



Şəkil 6.14. $r = 5$, $a' = 0,1$, $q = 2$, $f = 0,6$, $N_0 = 150$, $C_0 = 50$ halında yırtıcı və qurban populyasiyalarının sayının dinamikasının tərəddüdləri.

Bütöv xətt –qurbanı, ştrix xətt isə -yırtıcıyı göstərir



Şəkil 6.15. İki komponentli populyasiyanın həndəsi təsviri

Təbii ki, populyasiyaların qarşılıqlı təsirləri vaxtı onların fərdlərinin sayı dəyişir, yəni N və M t vaxtından asılıdır, ξ nöqtəsi isə vaxt keçdikcə müəyyən bir trayektoriya üzrə hərəkət edir. $N(t)$ və $M(t)$ funksiyalarını fasiləsiz differensiallaşan kimi

hesab etməklə $\frac{dN}{dt}$ və $\frac{dM}{dt}$ törəmələrini hesablamaq olar. Dif-

ferensial modeli qurmaq üçün bu törəmələri başqa yolla da hesablamaq, yəni, aşağıdakı kimi vermək olar:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = G_1(N, M, t) \\ \frac{dM}{dt} = G_2(N, M, t) \end{cases} \quad (6.34)$$

$$\begin{cases} G_1 = (\alpha_1 - \beta_1)N \\ G_2 = (\alpha_2 - \beta_2)M \end{cases} \quad (6.35)$$

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi α_i – hər bir populyasiya üçün doğum sayı əmsalları; β_i – hər bir populyasiya üçün ölüm sayı əmsallarıdır.

Aydın görünür ki, yırtıcıların sayı nə qədər çox olarsa, onda qurban populyasiyası üçün β_1 bir o qədər çox olacaq. Belə hal üçün yazmaq olar:

$$\beta_1 = \delta_1 \cdot M, \quad \delta_1 > 1, \quad \delta_1 = const. \quad (6.36)$$

Digər tərəfdən, yırtıcı populyasiyası nə qədər çox qidaya malikdirsə, onda yırtıcıların doğum sayı əmsalı bir o qədər çox olacaq. Yenə də yazmaq olar:

$$\alpha_2 = \delta_2 \cdot N, \quad \delta_2 > 1, \quad \delta_2 = const. \quad (6.37)$$

Yuxarıdakıları nəzərə almaqla, aşağıdakı differensial tənliyi yazmaq olar:

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = (\alpha_1 - \delta_1 M)N \\ \frac{dM}{dt} = (\delta_2 N - \beta_2)M \end{cases} \quad (6.38)$$

(6.38) tənliklər sisteminin sağ tərəflərini sıfıra bərabərləşdirək:

$$\begin{cases} (\alpha_1 - \delta_1 M)N = 0 \\ (\delta_2 N - \beta_2)M = 0 \end{cases} \quad (6.39)$$

(6.39)-dakı cəbri tənlikləri həll etməklə iki taraz nöqtə tapmaq olar:

$$\begin{cases} \xi_1 = (N_1, M_1) = (0, 0) \\ \xi_p = (N_p, M_p) \end{cases} \quad (6.40)$$

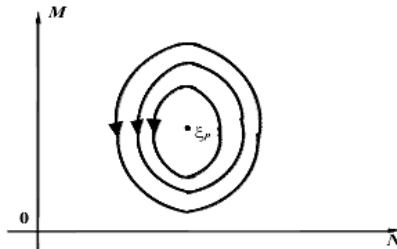
burada $N_p = \frac{\beta_2}{\delta}$, $M_p = \frac{\alpha_1}{\delta}$ - populyasiyaların taraz saylarıdır.

Bu o deməkdir ki, $t=0$ başlanğıc vaxt anında qurban və yırtıcı populyasiyalarının sayı N_p və M_p -yə bərabərdir, onda vaxt keçdikcə say azalmır, yəni, $N(t)=N_p$, $M(t)=M_p$ (6.39) tənliyinin həllidir.

İndi isə (6.39) tənliyinin başlanğıc şərtlərinin N_p və M_p -dən fərqli qiymətlərinə baxaq, burada $N_0 \neq N_p$ və ya $M_0 \neq M_p$. Onda (6.39) tənliyi analitik olaraq həll edilir və həll trayektoriyası funksiya səviyyəsinin xətti ilə verilir:

$$\frac{\exp(\delta_1 M + \delta_2 N)}{M^{\alpha_1} N^{\beta_1}} = \frac{\exp(\delta_1 M_0 + \delta_2 N_0)}{M_0^{\alpha_1} N_0^{\beta_1}} = const \quad (6.41)$$

(6.42) funksiya səviyyəsinin xəttinin təhlili göstərir ki, trayektoriyalar ξ_p sükut nöqtəsi ətrafında təsvir edilmiş qapalı xətlərdən ibarətdir. Beləliklə, $N(t)$, $M(t)$ saylarının periodik tərəddüdləri mövcud olur (şəkil 6.16).



Şəkil 6.16. $N(t)$, $M(t)$ saylarının periodik tərəddüdləri

VII FƏSİL. AQRÖEKOSİSTEMLƏRİN RİYAZİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

7.1. Torpaq-bitki-atmosfer sistemi aqroekoloji sistem kimi

Məlumdur ki, istiqamətləndirilmiş antropogen təsir nəticəsində təbii ekosistemlər dağılır və onların yerində süni ekoloji sistemlər –**aqroekosistemlər** yaranır. Onlar ekosistemin xüsusi növünə aiddir, yəni kənd təsərrüfatı sahəsinin ekoloji sistemidir və burada mədəni bitkilər becərilir, başqa bitki və heyvan növləri yaşayır, enerji və kütlənin zəncirvari fiziki və biokimyəvi transformasiyası baş verir. Aqroekoloji sistemlərdə özünü-tənzimləmə bir çox hallarda, müxtəlif səviyyələrdə ildən–ilə təbii təkrarlanan enerji və kütlə mübadiləsi isə tam pozulmuşdur, onlar qeyri-tarazdırlar. Burada əksər əks əlaqələr qırılmış və sistemin fitosenozu öz-özünə bərpa oluna bilmir, bunun üçün antropogen fəaliyyət lazımdır.

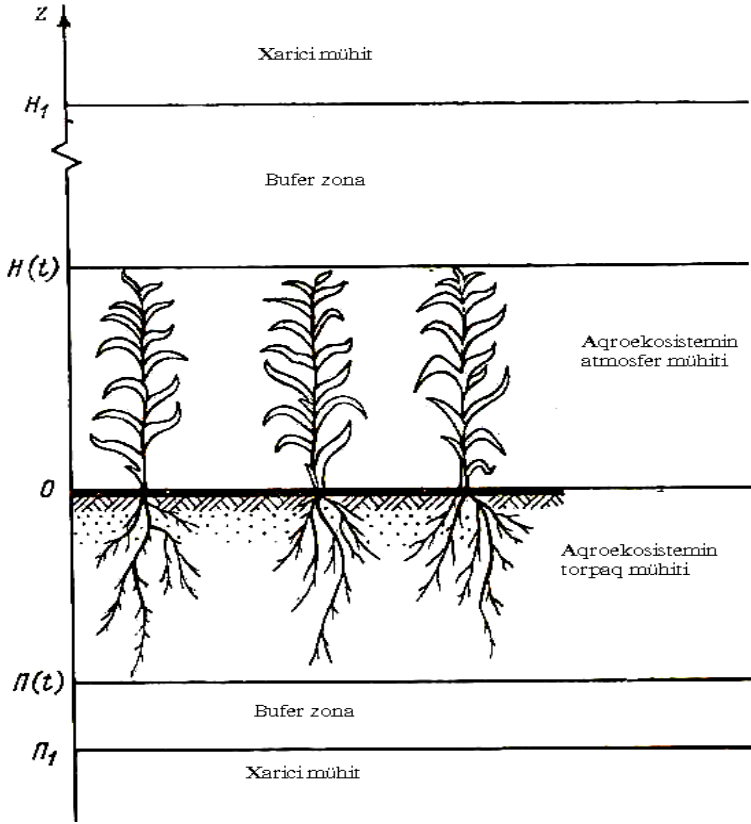
Aqroekoloji sistemin bitki örtüyü eyni vaxtda iki mühitdə-atmosferin yer səthi təbəqəsində və litosferin üst qatlarında yerləşir, enerji və maddələrin bitki tərkibinə daxil olunması bitkinin fiziki mühitlərlə sərhədlərində baş verən **‘sərhəd prosesləri vasitəsilə’** həyata keçirilir. Məsələn, fotosintez prosesi yarpaqda, gövdədə, formalaşan reprorduktiv orqanlarda, yəni bitki ilə atmosfer sərhədində, suyun və mineral maddələrin daxil olması kök sistemi ilə torpaq sərhədində baş verir. Bitkinin fitoelementləri və kök sistemi ilə xarici mühit arasında mübadilə prosesləri funksional olaraq ayrılmazdırlar və onlar ancaq eyni vaxtda baş verirlər. Onlar arasındakı əlaqəni bitki daxilindəki daşınma proseslərinin mürəkkəb birliyi təmin edir (bitkilərin karbon qazı və su mübadiləsi, mineral maddələr mübadiləsi).

Bitki sisteminin yaşadığı hava və torpaq mühitlərinin tərkib və rejimləri aqroekosistemin, ən əsası isə bitkilərin daxili komponentlərinin birbaşa və təyinedici təsiri altında olmaqla xarici atmosfer və torpaq proseslərinin güclü təsirinə məruz qalırlar. Fitosenoz sərhəd mübadilə proseslərini həyata keçirə-

rək öz yaşadığı hava və torpaq mühitini dəyişir və beləliklə, müəyyən mənada xarici şəraitin kəskin tərəddüdlərini yumşaldırlar. Hava mühitində bu dəyişmələr aşağıdakı prosesləri əhatə edir: günəş radiasiyasının bitki örtüyündə daşınması, onun fito-elementlər tərəfindən udulması və səpələnməsi, torpaq tərəfindən günəş radiasiyasının udulması və əks olunması, bitki örtüyü üzərində və onun daxilindəki hava təbəqəsində atmosfer turbulentliyinin xarakteristikalarının dəyişməsi və küləyin sürətinin zəifləməsi, bitki örtüyü üzərində və onun daxilindəki hava təbəqəsində istiliyin konvektiv daşınması, su buxarının torpaqdan (buxarlanma) və fitoelementlərdən (transpirasiya) ayrılması, və onun havada daşınması.

Bu proseslərin təsiri altında torpağın və bitkilərin temperatur rejimləri formalaşır. Bitki örtüyünün fotosintez və nəfəs alma prosesləri karbon qazı rejimini (gündüz bitki tərəfindən udulmasını, gecələr isə ondan ayrılmasını), torpaqdan karbon qazının ayrılmasını, onun havada daşınmasını təyin edir.

Torpaq mühiti bir növ aqroekosistemin güzgüsüdür, Onun xassələrinə nisbətən konservativ xassələrini, yəni torpaq kütləsinin əsas fiziki və kimyəvi xassələrini, və həmçinin canlı orqanizmlərin biokütləsini və paylanmasını, torpaq profilinin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişkən xarakteristikalarını aid etmək olar. Bu proseslərin təsiri nəticəsində torpağın istilik, su və radiasiya rejimləri, torpaqda mineral maddələrin elementlərinin miqdarı formalaşır. Şərti olaraq bütün torpaq-bitki-atmosfer sistemini altı üfüqi təbəqəyə bölmək olar (şəkil 7.1). Burada şaquli istiqamət üzrə torpaq sahələrindən bitki örtüyünün yuxarı sərhədinə $z_0(\mathbf{h})$ və kök sisteminin yayılmasının aşağı sərhədinə $r_0(\mathbf{h})$ qədər daxili mühit – aqroekosistemin ayrılmaz tərkib hissəsi seçilir. Bunlar müvafiq olaraq aqroekosistemin atmosfer və torpaq mühitləridir. Onlara keçid, yəni aralıq zonalər birləşir. Aralıq zonalarda bitkilərin ayrı-ayrı hissələri yoxdur, amma, onların fiziki xarakteristikaları mübadilə prosesləri sayəsində bitkilərdən müəyyən asılılığını saxlayırlar.



Şəkil 7.1. Torpaq-bitki-atmosfer sisteminin sxematik təyini

Yersəthi atmosferi və torpağın yuxarı qatlarını əhatə edən aqroekosistemin daxili atmosfer və torpaq mühitlərinin xassələri aqroekosistemin digər komponentlərinin (istilik mübadiləsi, rütubət mübadiləsi, fotosintez, nəfəsalma və s.) qarşılıqlı təsiri prosesləri ilə təyin olunurlar. Onlardan fərqli olaraq aqroekosistemin xarici mühitinin xassələri ($z > H_1$ və $z < H_1$) daha böyük miqyaslı və aqroekosistemin təsirindən asılı olmayan proseslərin təsiri altında formalaşirlar.

Aqroekosistemin xarici və daxili mühitlərinin sərhədləri zamana və məkana görə bitkilərin böyüməsi və inkişafı ilə təyin

edilir. Bitki növlərindən və onların inkişaf mərhələlərindən asılı olaraq aqroekosistemin atmosfer və torpaq mühitlərinin sərhədləri bir neçə santimetrdən bir neçə metrə qədər dəyişə bilər.

Torpaq-bitki-atmosfer sistemi üçün yüksək mürəkkəblik, tamlıq, dinamiklik, özü-özünü tənzimləmək imkanı və uyğunlaşma kimi xüsusiyyətlər xarakterikdir.

Aqroekosistemlərin tədqiqat üsulları aşağıdakı əsas ekobioloji qanunlara əsaslanır:

1) həyatın əsas amillərinin bərabər əhəmiyyətlik qanunu.

Bu qanuna görə, bitkinin inkişafı üçün lazım olan amillərdən (hava, işıq, istilik, rütubət, qida maddələri) heç biri digəri ilə əvəz olunma bilməz, onların hamısı bitki həyatı üçün zəruridir;

2) bitkilər üçün ətraf mühit amillərinin qeyri-bərabərlik qanununa

görə, ətraf mühit amilləri bitkilərə təsirlərinə görə əsas və ikinci dərəcəli amillərə bölünür. Əsas amillər bitkilərə birbaşa və əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir, ikinci dərəcəli isə dolayı rol oynayaraq əsas amillərin təsirini gücləndirir və ya zəiflədir;

3) minimum qanuna (və ya məhdudlaşdırıcı amilə)

görə, dəyişməyən başqa şəraitdə məhsuldarlığın səviyyəsi minimum səviyyədə olan amillə təyin edilir. Məsələn, quraq zonalarda rütubətin miqdarı məhsul üçün məhdudlaşdırıcı amil rolunu oynayır;

4) optimum qanuna (və ya amillərin birgə fəaliyyəti)

görə bitkilərdə ən yüksək məhsuldarlıq onların becərilməsində aqrotexnikanın keyfiyyətini daim yüksəltmə fonunda müxtəlif amillərin optimal birgə təsiri ilə təmin olunur;

5) böhran dövrlər qanununa

görə bitkilərin inkişaf dövrünün ayri-ayrı mərhələləri ətraf mühit amillərinin, xüsusilə rütubətin, istiliyin, günəş radiasiyasının müəyyən kəmiyyət qiymətlərinə çox həssasdır.

Torpaq-bitki-atmosfer sisteminin və xarici mühitin mürəkkəbliyi. Bu sistem üçün aşağıdakı hallar xarakterikdir. Baxılan sistemin mərkəzi hissəsi- bitki sistemindən- aqrosenozdən

ibarətdir. Canlı bitki aləmi üçün bir neçə səviyyə fərqləndirilir - *biosfer, biogenosenoz, senoz, orqanizm, orqan, hüceyrə*. Bu ardıcılıqda daha yüksək səviyyəyə keçilərkən, onların bəzi xarakteristikaları daha mürəkkəb olurlar, amma kiçik səviyyədən daha yüksək səviyyəyə keçilərkən, digər xassələr daha az mürəkkəb və dəyişkən olurlar. Məsələn, qarğıdalı sahəsinin fotosintezi ayrı-ayrı bitkinin və yarpağın fotosintezinə nisbətən daha az dəyişkənliyə məruz qalır. Biokütlənin təşkilinin hər bir səviyyəsinə özünün xarakteristik xüsusiyyətləri aiddir. Onlardan birinin digərisindən daha vacib olması üçün əsas yoxdur. Daha aşağı səviyyədəki prosesləri öyrənmədən daha yüksək səviyyədəki proseslərin xassələrini anlamaq mümkün deyil. Digər tərəfdən, ayrı-ayrı bitkiləri öyrənməklə aqrosenozun bütün xassələrinin dəyişməsi proqnozunu vermək mümkün deyil.

Aqroekosistemin abiotik komponentləri-torpaq və atmosfer də mürəkkəb daxili struktura malikdir. Amma, aqroekosistem öyrənilərkən, onlara bir çox hallarda bir struktur səviyyə kimi baxmaq lazımdır, hansı ki, burada maddələrin və enerjinin daşınması prosesləri baş verir. Bunlarla bərabər, həm torpağın, həm də atmosferin aqrosenozla təsirini hər hansı bir parametrlə təqdim etmək olmaz. Məsələn, aqrosenozun su və istilik rejimlərinin xarakteristikalarını hesablamaq üçün havanın temperaturunun və nisbi rütubətliyinin, günəş radiasiyasının intensivliyinin, atmosferin əks şüalanmasının, küləyin sürətinin (atmosfer üçün), torpağın temperaturunun və nəmliyinin (torpaq üçün) qiymətlərindən istifadə edilir. Adətən, xarici mühit amillərinin aqrosenozla təsiri *monodominantlıq, sinergizm və antoqonizm* halları ilə mürəkkəbləşir.

Monodominantlıq o vaxt yaranır ki, minimumda və ya maksimumda olan amillərdən biri, digər bütün amillərin təsirini əhəmiyyətli azaldaraq, ekosistemə çox güclü təsir göstərir.

Sinergizm - iki və ya daha çox amilin ekosistemə təsirinin qarşılıqlı güclənməsidir.

Antoqonizm - iki və ya daha çox amilin ekosistemə təsirinin qarşılıqlı kompensasiyasıdır. Xarici mühit amillərinin aqroekosistemə təsirinin təhlili göstərir ki, bunlar ayrı-ayrı parametrlər arasındakı yüksək statistik əlaqələrlə də mürəkkəbləşir. Xarici mühitin əksər amillərinə çox mürəkkəb xarakter daşıyan dinamiklik xasdır. Torpağın ən vacib aqrofiziki parametrləri meteoroloji elementlərinin tərəddüdlərinə nisbətən nəzərə çarpacaq dərəcədə daha az intensivdir. Bütün bu mürəkkəbliliklər torpaq-bitki-atmosfer sisteminin modelləşdirilməsində bu və ya digər formada riyazi və bioloji cəhətdən lazımi sadələşməyə məruz qalır.

Sistemin qeyri-stasionarlığı. Qeyri-stasionarlıq – *torpaq – bitki - atmosfer sisteminin ətraf mühit şəraitinin təsirinə reaksiyasının vaxta görə xarakterinin dəyişməsi*- bir çox hallarda şərtləndirilir. Modelləşdirmə məqsədləri üçün qeyri-stasionarlığın «*kəmiyyətə*» və «*keyfiyyətə*» yaranan səbəblərinə ayrı-ayrılıqda baxılması daha rahatdır. Burada keyfiyyət səbəbi-bitkilərin inkişafı, kəmiyyət səbəbi isə onların böyüməsidir. Yaxşı məlumdur ki, bitkilərin böyüməsi və inkişafı zamanı onların xarici mühit amillərinə tələbatı qanunauyğun olaraq dəyişir. Məsələn, onlarda böhran dövrlərinin olmasına nisbətən temperatur, rütubət təminatında və s. öz əksini tapır. Həmçinin məlumdur ki, əsas fizioloji proseslərin kardinal nöqtələri sabit qalmır-dəyişir. Bitkilərin inkişaf prosesində belə kəmiyyət dəyişmələrinin riyazi modellərin işlənməsində nəzərə alınması müəyyən çətinliklər törədir. Böyümə prosesləri nəzərdən keçirilən sistemin qeyri-stasionarlığını göstərilən ardıcılıqla şərtləndirir. Birincisi, aqroekosistemin daxili mühitinin həcmi böyüyür, yəni onun yuxarı və aşağı sərhədləri genişlənir (bax şəkil 7.1). İkincisi, bu mühitin öz xarakteri dəyişir, yəni sistem yarpaq, gövdə, kök hesabına daha da böyüyür. Bitkilərin böyüməsi ilə əlaqədar aqroekosistemin daxili mühiti həddində fitokütlənin xüsusi sıxlığı və xüsusi səthi böyüyür. Fitokütlənin elementləri istilik, rütubətlik mənbələridir və yaxud onlardan istifadə edir-

lər. Bu mənbələrin gücü fitokütlənin xüsusi səthinə mütənasib olaraq artır. Bütün bunlar bir sıra proseslərin mütləq nəzərə alınmasını zəruri edir. Həm də qeyd etmək lazımdır ki, bitkinin böyüməsi ilə əlaqədar torpaq-bitki-atmosfer sistemi daha inersion olur. Müasir dövrdə bitkilərin böyüməsi ilə şərtləndirilən aqroekosistemin qeyri-stasionarlığı riyazi modelləşmədə lazımı səviyyədə nəzərə alınır.

Sistemin inersionluğu (ətalətliyi). Məlumdur ki, cari meteoroloji şəraitdən başqa, aqrosenozun fitokütləsinin artımı inersion xarakteristikaları ilə, yəni yarpaq səthinin sahəsi, kök sisteminin gücü, kök yayılan zonanın nəmliyi ilə təyin olunur. Yarpaqların sahəsi və kök sisteminin gücü əkinlərin əvvəlki tarixini- mühit şəraitinin əlverişlilik dərəcəsini xarakterizə edir. Belə bir xarakteristika torpaq nəmliyidir. Müvafiq proseslərin gələcək gedişinə inersion elementlərin vəziyyətinin təsir dərəcəsi müxtəlifdir və cari şəraitdən asılıdır. Bioloji inersion elementlərin (sünbüldaşıyan gövdələrin sayı, sünbüldə dəninin sayı və s.) nəzərə alınması xüsusilə vacibdir, belə ki, onlar əhəmiyyətli dərəcədə məhsulun miqdarını təyin edirlər. Aqroekosistemdə inersion elementlərin mövcud olması riyazi modelləşdirməni çətinləşdirir, amma bu elementlərin olması məhsulun proqnozlaşdırılması üsullarının inkişafını sürətləndirir.

Sistemin qeyri-xəttiliyi. Cansız təbiətdə bir çox hadisələrin riyazi modelləşdirilməsində təxmini olan xətti əlaqələrdən səmərəli istifadə olunur. Amma, bioloji proseslərdə vəziyyət başqa cürdür, belə ki, bitkilərin məhsuldarlığını təyin edən bütün bioloji proseslər xarici mühit amilləri ilə qeyri-xətti əlaqəlidirlər. Riyazi modelləşdirmədə belə əlaqələrin bu və ya digər formada sadələşdirilməsi qarşıya qoyulan məqsədlərdən asılıdır.

Sistemin adaptivliyi. Müasir biologiya canlı orqanizmi mürəkkəb açıq özünütənzimləyən və özünüyaradan dinamik sistem kimi başa düşür və qəbul edir. Dəyişən şəraitə adaptasiya (uyğunlaşma)- canlıların çox nadir xüsusiyyətidir. Bitkilərin

inkişaf prosesinə təsir edən iki tənzimləmə prinsipi mövcuddur: 1) *nəsillik amillərlə, yəni inkişafın daxili amilləri ilə verilən proqrama görə inkişaf*; 2) *xarici mühitdəki vəziyyətinə müvafiq, yəni xarici amillərdən asılı olan inkişaf*. Biokütlənin toplanma tempinin tənzimlənməsinin əsas atributu ən çətin şəraitdə böyüyən orqanın təminatını yaxşılaşdırmaq üçün plastik materialın paylanması (hətta təkrar yenidən paylanması) qabiliyyətidir. Məsələn, qida maddələrinin elementlərinin çatışmazlığı şəraitində kökdəki anatomo-morfoloji dəyişmələr, onun uzanmasına və işçi səthin sahəsinin böyüməsinə istiqamətlənib, torpaqda rütubət çatışmazlığı kök sisteminin rütubətlikdən daha yaxşı istifadə etməyinə istiqamətlənib.

Özünü tənzimləmə və adaptasiya prosesləri idarəetmə və informasiyanın ötürülməsi xassələri olmadan mümkün deyil. Beləliklə, mühit şəraitinin bitki orqanizminə təsirini əks etdirən riyazi model informasiyanın qəbul olunması, işlənməsi və istifadə olunması proseslərini əks etdirməlidir, yəni həm də *kibernetik xarakter* daşmalıdır. Tədqiqatlar göstərir ki, adaptiv mexanizmlərin nəzərə alınması perspektivdə aqroekosistemin riyazi modellərinin təkmilləşdirilməsinin əsas istiqaməti olacaqdır.

7.2. İstifadə olunan modellərin təsnifatı

Xarici mühitin aqrosenozun məhsuldarlığına təsirini təsvir edən çoxsaylı və müxtəlif formalı riyazi modellər 2 qrupa bölünür: *nəzəri əhəmiyyətli və tətbiqi xarakterli modellər*.

Nəzəri əhəmiyyətli olan modellər əsasən üç sinifə bölünür: - *statistik modellər*; - *qısadövrü (sutkalıq) dinamik model*; - *uzundövrü (mövsümi) modellər*.

Statistik modellər “*ani*” məhsuldarlığı xarici mühit amillərinin fiksasiya olunmuş qiymətində və aqrosenozun fiksasiya (dəyişməz) vəziyyətində qiymətləndirməyə imkan verir. Bitki məhsuldarlığının statistik modeli birinci dəfə 1953-cü ildə Monsi və Saeki tərəfindən təqdim olunmuş, keçmiş SSRİ mə-

kanında isə aqroekosistemin modelləşdirilməsi tədqiqatları Niçiporoviçin təşəbbüsü ilə başlanmışdır. Budaqovskinin, Niçiporoviçin və Rossun elmi məqalələrində məhsulun formalaşması prosesi nəzəriyyəsinin yaradılmasının ümumi prinsipləri verilmişdir. Ross və Bihelenin birgə işlədiyi nəzəri statistik modeldə radiasiya rejiminin fotosintezə və bitki örtüyünün məhsuldarlığına təsiri geniş formada öyrənilmişdir. Eyni vaxtda Budiko tərəfindən işlənmiş modeldə fotosintez və nəfəsalma ilə əlaqədar olaraq bitki örtüyündə karbon qazının şaquli paylanması ətraflı verilmişdir. Statistik modellər haqqında ilk işlər dərc olunduqdan sonra bu istiqamət sürətlə inkişaf etmiş və indiyə kimi 60-dan çox model haqqında məlumat vardır.

Qısadövrü (sutkalıq) dinamik modellərin əsas funksiyası bitki sisteminin məhsuldarlığını formalaşdıran proseslərin sutkalıq dinamikasının meteoroloji parametrlərin sutkalıq dəyişməsindən və aqrosenozun özünün dəyişməyən vəziyyətindən asılı olaraq qiymətləndirilməsidir. Bu modellərdə əsas diqqət torpaq-bitki-atmosfer sisteminin enerji- və kütlə mübadiləsi proseslərinin sutkalıq dinamikasının təhlilinə yönəldilir. Son dövrlərdə bu istiqamətdə aparılmış fundamental tədqiqatlara O.D.Sirotenkonun, A.P.Boykonun, A.N.Polevoyun, Menjulinin elmi tədqiqatlarını aid etmək olar.

Uzundövrü (mövsümi) dinamik modellərin əsas tədqiqat istiqaməti bitki sisteminin vəziyyətini vegetasiya dövrü və yaxud bu dövrün böyük hissəsində təsvir etməkdir. Bu vaxt aqrosenozun vəziyyəti bitkinin böyüməsi və inkişafı ilə əlaqədar olaraq dəyişir, yəni sabit olaraq qalmır. Çoxsaylı müasir statistik, sutkalıq və mövsümi riyazi modellər eyni proseslərin müxtəlif dərəcədə təsvirinə görə bir-birindən kəskin fərqlənir. Məsələn, İdsonun sutkalıq modelində cəmi fotosintezi hesablamaq üçün bitki örtüyü 35 təbəqəyə, bu təbəqənin hər birində yarpaqlar maillik bucaqlarına görə 9 sinifə bölünür. Hesablamalar hər bir təbəqə, yarpaq sinfi və günəşin hər bir doqquz hündürlüyü üçün aparılır, sonra alınan nəticələr toplanır. Bu-

nunla yanaşı, bir çox mövsümi modellərdə birtəbəqəli yanaşmalardan istifadə edilir.

Aqrosenzonun məhsuldarlıq proseslərinin tətbiqi xarakterli riyazi modelləri də üç sinifə bölünür: *-statistik modellər;* *-fiziki-statistik modellər;* *-dinamiki-statistik modellər;*

Aqrometeorologiya elmi yarandığı vaxtdan statistik üsullardan istifadə olunmasına başlanılmışdır. Obuxov ilk olaraq meteoroloji şəraitin məhsula təsirini öyrənmək üçün reqressiya təhlilindən geniş istifadə etmişdir.

Nəzəri əhəmiyyətli modellərdə olduğu kimi, tətbiqi xarakterli modellərdə də eyni metodika və yanaşmalardan istifadə edilmişdir.

Modelləşdirmənin statistik üsullarının geniş tətbiqi ilə bərabər, bu metodologiyaya xas olan çətinliklər və məhdudiyətlər mövcuddur. Bu problemləri həll etmək üçün, klassik reqressiya təhlilindən əhəmiyyətli fərqlənən başqa sxemlər işlənməyə başlanmışdır. Belə sxemlər bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir, amma, onlar üçün ümumi hal -təsvir olunan proseslərin fiziki mexanizmləri barədə müxtəlif formalı məlumatların daha tam istifadə olunması tendensiyasının olmasıdır. Bu səbəbə görə, onlar tətbiqi- fiziki-statistik modellər sinifində birləşdirilib.

Son 25-30 ildə nəzəri məqsədlər üçün kompleks mövsümi dinamiki modellərin işlənməsi ilə bərabər, analoji modellər tətbiqi məsələlərin həlli üçün də işlənməyə başlanmışdır. Dünyada ilk belə təyinatlı riyazi model ABŞ mütəxəssisləri tərəfindən pambığın becərilməsi proseslərinin texnoloji idarə edilməsi məqsədilə işlənməmişdir. Keçmiş SSRİ-də kənd təsərrüfatının aqrometeoroloji təminatı ilə əlaqədar olan məsələlərin həlli üçün ilk riyazi model O.D.Sirotenko, kənd təsərrüfatı sahələrinin su rejimini idarə etmək üçün yaradılan modellər Y.P.Qalyamin tərəfindən işlənilmişdir.

Müasir kompüter texnikasının inkişafı və geniş tətbiqi ilə əlaqədar aqroekosistemdə dinamiki modelləşdirmə üsullarının

işlənməsi daha sürətlə həyata keçirilməyə başlanmışdır. Dinamiki modelləşdirmə üsullarının əsaslarını-tədqiq olunan mühitdə baş verən fiziki proseslərin riyazi tənlilikləri, metodiki əsaslarını isə mürəkkəb obyektlərin sistem analizi və balans üsulları təşkil edir.

Belə modellər fiziki, kimyəvi, bioloji və fizioloji prosesləri və onların qarşılıqlı əlaqəsini təsvir edən və meteoroloji, aqrometeoroloji, torpaq və aqronomik amillərin tam kompleksini nəzərə alan tənliliklər sistemindən ibarətdir. Bu tənliliklər differensial tənliliklərdir və mürəkkəb xarakterli olduqlarına görə, adətən, ədədi üsullarla həll edilir. Belə növlü modellər bitkilərin fotosintez və aqroekosistemin enerji- və kütlə mübadiləsi nəzəriyyələrinə əsasən yaradılır və bitki sisteminin biokütləsinin balansını və həmçinin, bitki örtüyünün və torpağın radiasiya, istilik və su balanslarını təsvir edir.

Riyazi modellərə həmişə tələb olunan ən əsas xassələrdən biri odur ki, model əsas təyinedici proseslərin dinamikasını və komponentlərin qarşılıqlı əlaqəsini real olaraq əks etdirsin. Bu halda model eksperimental məlumatların dəyişmə və onların dəqiqliyi intervalında qurulmalıdır.

Dinamiki modellərin regressiya tənliliklərindən əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, tədqiq olunan ərazi xüsusiyyətləri modellərin tətbiqində az rol oynayır, belə ki, modelin özü tədqiq olunan sistemə təsir edən məhdudlaşdırıcı amilləri ortaya çıxardır.

Qeyd etmək lazımdır ki, aqroekosistemlər səhəsində aparıcı mütəxəssislərin rəyinə görə, iqlim şəraitinin kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığına təsirinin tədqiqi vaxtı alınan nəticələrin əsasını dinamiki-statistik modellər təşkil edir.

7.3. Kənd təsərrüfatı bitkilərinin dinamiki modellərinin növləri

Kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlıq proseslərinin modelləri barədə məlumat. Riyazi ekologiyada ən böyük nai-

liyyətlərin əldə olunduğu sahələrdən biri kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlıq prosesinin modelləşdirilməsidir. Bu, kənd təsərrüfatı bitkilərinin becərilməsinin optimallaşdırılması və istixana təsərrüfatının inkişafı ilə təyin olunur. Bunlar aşağıdakı kənd təsərrüfatı tədbirlərinin həyata keçirilməsinin optimal strategiyasının seçilməsi üçün istifadə olunur: suvarma, gübrələrin torpağa verilməsi, maksimal məhsul almaq üçün səpin və əkin tarixlərinin seçilməsi. Tam nəzarətdə olan istixana təsərrüfatı üçün elə modellər qurmaq olar ki, verilmiş xarici mühit şəraitində böyümə və inkişafın bütün dövrünü təsvir etsin. Onda modelin köməyi ilə bitkinin “idarə olunmasının” optimal “resepti” bütün vegetasiya dövrü üçün tam verilə bilər.

Əgər açıq sahədə bitkinin modeli qurularsa, onda bu bitkiyə istənilən hava şəraiti təsir göstərdiyi üçün, aqrobiosnoz operativ idarəetməyə ehtiyac duyur, bunun üçün də elə dinamik modeldən istifadə etmək lazımdır ki, modelin parametrlərinin, bəzi hallarda isə strukturunun operativ dəyişməsinə həyata keçirmək mümkün olsun. İlk belə modellərdən biri amerikalı müəlliflər kollektivi (SPAM -Soil-Plant-Atmosphere Model, Schaweroft et. al., 1974) və hollandiyalı alim De Wit və onun qrupu (BESCROP - Basic Crop Simulation, De Wit, 1978) tərəfindən işlənmişdir. Müasir dövrdə soya, buğda, heyvanların yem ehtiyatının əsasını təşkil edən otlar, qarğıdalı, pambıq və digər aqrobitkilər üçün müxtəlif dərəcədə detallaşdırma ilə işlənmiş 30-dan çox belə növ model mövcuddur.

Bitkilərin məhsuldarlıq prosesinin modelinin strukturu və mürəkkəblik səviyyəsi, bitkidə baş verən proseslərin təqdim olunması forması modelləşdirmənin predmeti və məqsədi ilə təyin olunur. Məsələn, kənd təsərrüfatı heyvanlarının yemi kimi nəzərdə tutulan ot bitkilərinin biokütləsini bircins qəbul etməklə, onlar üçün nəzərdə tutulan modellər, məhsuldarlığı reproduktiv orqanlarda (dəndə, kökmeyvələrdə) cəmləşən bitkilər üçün nəzərdə tutulan modellərdən əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirilmiş formada ola bilər. Təbii ki, praktiki məqsədlər üçün

müəyyən hava şəraiti, suvarmanın optimal rejimi və ya mineral gübrələrin verilməsinin optimal tarixləri və ya normalarının müəyyən hallarında məhsulun proqnozunun verilməsi üçün daha sadə modellərdən istifadə etmək daha məqsədəuyğundur.

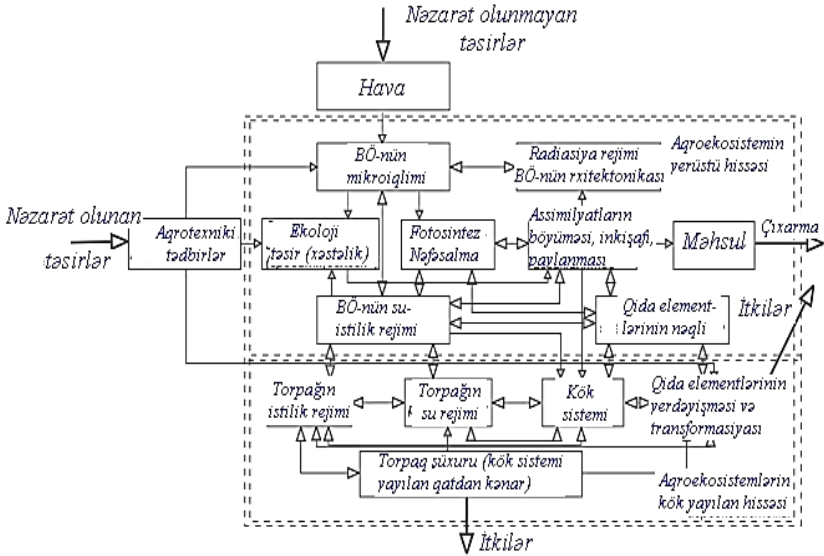
Burada qeyd etmək olar ki, son dövrlərin ən hərtərəfli modellərindən biri buğdanın aqrofitosenozunun modelidir. Bu model kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlıq prosesinin ən detallaşdırılmış imitasion modelidir (Simona sistemi) və P.A.Polyektovun rəhbərliyi altında Peterburq Aqrofizika İnstitutunda işlənmişdir. Riyazi nöqtəyi-nəzərdən bu model bir neçə parabolik tipli xüsusi tərtibli və bir neçə onluqdan ibarət olan adi differensial tənliklərdən ibarətdir. Modelin tənliklərinin həllində ədədi həll sxeminə keçiddə koordinata və vaxta görə modelin addımları seçilir. Modelin baza vaxta görə addımı bir saat götürülmüşdür, bu da abiotik (enerji mübadiləsi) və biotik (fotosintez, metabolizm) proseslərinin sutkalıq gedişini imitasiya etməyə imkan verir. Sistemin abiotik hissəsinin vəziyyəti şaquli paylanmış dəyişən kəmiyyətlər toplusu ilə (radiasiya, bitki örtüyündə havanın temperaturu və rütubətliyi və s.) xarakterizə olunur. Sistemin bioloji hissəsi isə aşağıdakı dəyişənlərlə təqdim olunub: fitoelementlərin assimilyasiya edici və kök sisteminin uducu səthinin sıxlığı, biokütlənin ayrı-ayrı tərkib hissələrinin (karbonatlar, amin turşuları, zülallar) və fitokütlə tam vahid kimi.

Modelə üç növ proseslərin təsviri daxil edilib (şəkil 7.2):

1) bitkilərin yaşayış mühitində (torpaqda və yerətrafi havada) və onların özlərində baş verən enerji – və kütlə mübadiləsi; 2) biokütlənin artımı, bitkilərin ayrı-ayrı struktur elementlərinin böyüməsini və inkişafını və məhsulun formalaşmasını təyin edən biofiziki və fiziolojiki proseslərin məcmusu; 3) mədəni bitkilərin əlaq otları, xəstəlik törədən mikroorqanizmlərlə və ziyanvericilərlə ekoloji qarşılıqlı təsirləri.

Modelin giriş məlumatları qismində nəzarətdə saxlanılan (aqrotexnika) və nəzarət edilə bilinməyən (hava) kimi xarici tə-

sirlər çıxış edir. Bunlarla bərabər, baxılan model praktikada istifadə üçün çox mürəkkəbdir. Tam həcmli belə modellər tədqiqat məqsədlərinə xidmət edir, belə ki onlar fasiləsiz olaraq inkişaf etdirilir, ən yeni məlumatlar əsasında onların strukturu və parametrlərin qiymətləri dəqiqləşdirilir. Onların çox ciddi təhlili praktiki tətbiq üçün də yol açır.



Şəkil 7.2. Buğda aqroekosisteminə proseslərin qarşılıqlı təsirləri sxemi

Kənd təsərrüfatı bitkilərinə sistem kimi baxılarkən, belə sistemin vəziyyəti adətən qarşılıqlı əlaqədə olan komponentlərin birgəliyi ilə təyin olunur və onlardan hər biri bir və ya bir neçə dəyişən xarakteristikaya malikdirlər. Sistemin vəziyyəti həmçinin bütün xarakteristikaların vaxta və məkana görə ədədi qiymətindən asılıdır. Sistemin komponentlərinin xarakteristikalarının dəyişməsinə gətirib çıxaran prosesləri müxtəlif növlü riyazi tənliliklərlə təsvir etmək olar. Riyazi modellərin strukturu işlə-nərkən, həm xarici mühit şəraitinin sistemin xarakteristikalarına ayrılıqda təsiri, həm də bu xarakteristikaların bir-birinə qarşılıqlı

təsiri nəzərə alınmalıdır. Belə yanaşma sistemin müxtəlif komponentləri arasında əks əlaqələrin geniş istifadə olunmasına imkan yaradır ki, bunun da mürəkkəb bioloji obyektlərin modelləşdirilməsi üçün böyük əhəmiyyəti vardır.

Aqroekoloji tədqiqatlarda istifadə olunan statistik modellər. Aqroekoloji tədqiqatlarda statistik modellərə regionun aqroiqlim amilləri nəzərə alınmaqla kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının proqnozlarını aid etmək olar. Statistik modellərin işlənməsi üçün bir çox hallarda klassik reqressiya təhlili üsulundn istifadə edilir. Belə modellərə empirik modellər də deyilir. Onlar son nəticəni (məhsuldarlıq və onun keyfiyyət göstəriciləri) təsir edən kəmiyyətlərlə (amillərlə) əlaqələndirir və əsasən istehsal funksiyaları adlanan forma kimi təqdim olunur.

Bir daha qeyd etmək olar ki, heç bir reqressiya tənliyi bütün qoyulan tələbləri, yəni, bütün əsas amilləri, amillərin geniş dəyişmə diapazonlarını və onların qarşılıqlı təsirlərini, sistemin ehtimal xarakteristikalarını təmin edə bilməz. Bunun üçün bir sıra model lazımdır və onlardan hər biri konkret şəraitdə və müəyyən məsələlər qruplarının həlli vaxtı qənaətbəxş nəticələri verə bilər.

Statistik modellərdən istifadəni çətinləşdirən ən vacib amillərdən digəri isə eynicins və uzunsıralı müşahidə sıralarının olmamasıdır. Məhsuldarlıq sıralarının bircins olmaması daima növ dəyişməsinin aparılması, əkinçiliyin kimyalaşdırılmasının intensivləşdirilməsi və s. ilə şərtləndirilir. Əkinçilik mədəniyyəti həmişə inkişaf etdiyinə görə, məhsuldarlıq sıraları gələcəkdə də statistik nöqtəyi-nəzərdən bircins olmayacaqdır. Yaranmış vəziyyətdən çıxış yolu kimi, bir çox hallarda *“il-stansiya”* üsulundan istifadə olunur. Bu üsula uyğun olaraq, oxşar fiziki-coğrafi şəraitdə yerləşən məntəqələrdəki məhsuldarlıq məlumatları bir qrupda birləşdirilir. Bu üsulun məğzi ondan ibarətdir ki, o, müəyyən dərəcədə zamana görə dəyişkənliyi məkana görə dəyişkənliklə əvəz etməyə imkan verir. Təbii ki, üç il ərzində 5

stansiyada məhsuldarlıq sırasının bircinsliyi bir stansiyada 15 ildəki məhsuldarlıq sırasının bircinsliyi ilə eyni olmayacaq. 15 illik məlumat informativ cəhətdən daha dolğundur, onlar baxılan bitkinin hidrometeoroloji şəraitə reaksiyasını öyrənməyə imkan verir.

Adi reqressiya təhlilinin tətbiq edilməsini çətinləşdirən növbəti ən vacib hal vegetasiya dövrünün hidrometeoroloji şəraitini təsvir edən elementlər arasında sıx korrelyasiya əlaqələrinin olmasıdır. Bunlarla bərabər, müxtəlif zaman intervallarına aid olan parametrlər arasındakı zəif korrelyasiya əlaqəsi də reqressiya təhlilinin istifadəsini çətinləşdirir. Beləliklə, bir sıra hallarda hidrometeoroloji şəraitin məhsulun formalaşmasına təsirini tədqiq etmək və müvafiq çoxölçülü proqnoz tikmələrinin işlənməsi üçün klassik reqressiya üsulunun tətbiqi gözlənilən nəticə vermir. Belə hallarda komponent təhlil üsulundan istifadə olunur. Bu üsulun adı reqressiya təhlili üsulundan üstünlüyü ondan ibarətdir ki, prediktor vektorunun bəzi tərkib hissələrini tədqiqatlardan xaric etmək olar.

Yuxarıda sadalanan çətinliklərə baxmayaraq, bir sıra hallarda o, sadəliyinə və daha səmərəli nəticələrin alınmasına görə daha vacibdir. Aşağıda praktikada istifadə olunan bir sıra reqressiya modelləri barədə qısa məlumat verilmişdir.

Kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığının reqressiya tənliyini matrisa formasında aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$Y = L * X = Q * C^{-1} * X, \quad (7.1)$$

burada L -reqressiya əmsallarının vektoru; X -asılı olmayan kəmiyyətlər vektoru; Q - Y prediktoru ilə X vektorunun tərkib hissələri arasındakı kovariasiya əmsallarından təşkil olunmuş vektor; C^{-1} -prediktorların kovariasiya matrisasına tərs mütənsib olan matrisdir.

Aqroekoloji hesablamalarda istifadə olunan çoxsaylı statistik üsullarda reqressiya tənliklərinin əmsalları adətən tədqiq olunan prediktorla və meteoroloji elementlər üzərində çoxillik müşahidə məlumatlarına əsasən empirik üsulla təyin edilir. Tə-

bii ki, reqressiya tənliklərinə əlavə kəmiyyətlər cəlb olunduqca, tələb olunan empirik əmsalların sayı da artır. Adətən, bir çox hallarda uzuncərgəli məlumatlar olmadığından, aqroekosistemdə antropogen təsir nəticəsində də dəyişmələr baş verdiyi üçün, tədqiq olunan elementlər arasındakı əlaqə statistik cəhətdən bircins olmur. Digər tərəfdən, reqressiya tənliklərinin köməyi ilə aqroekosistemə təsir edən fiziki və s. proseslər arasındakı qarşılıqlı əlaqələrin tədqiqi qeyri-mümkündür. Beləliklə, demək olar ki, müəyyən ərazilər və sistemlər üçün alınan reqressiya tənliklərinin başqa ərazi və sistemlər üçün tətbiq etmək qeyri-mümkündür.

Bitkilərin məhsuldarlığının torpağın xassələri ilə əlaqəsinə əsaslanmış digər reqressiya modelində torpağın münbitlik funksiyasını (Y) ya polinomial (7.2), ya da multiplikativ (7.3) funksiyalar kimi vermək olar:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + b_1 X_2 + a_2 X_2 + b_2 X_2 + c_1 X_1 X_2, \quad (7.2)$$

$$Y = a_0 f_1(X_1) f_2(X_2) \dots f_n(X_n) \dots, \quad (7.3)$$

burada a, b, c – empirik əmsallar; X_1, \dots, X_n – torpağın münbitliyi amilləri; f_1, \dots, f_n – ayrı-ayrı amillərin məhsula təsirini təyin edən bir sıra funksiyalardır.

Reqressiya modelləri torpağın fiziki xarakteristikalarının mövcud məlumatlar əsasında hesablanmasına imkan verir. Bu vaxt istifadə olunan funksiyalara bir sıra tələblər qoyulur: onlar yekunlaşdırıcı əlamətə təsir göstərən əsas amilləri nəzərə almalı və onların qiymətlərinin geniş diapazonunu əhatə etməli; ap-proksimasiya funksiyası real bioloji qanunauyğunluqlarına maksimal müvafiq olmalıdır.

Torpaq eroziyasının bir çox modelləri empiriko – reqression xarakter daşıyır. Epifitlərin (başqa bitki üzərində yaşayan, lakin parazit olmayan, yəni həmin bitkidən qidalanmayan bitki) dinamikasını təsvir etmək üçün də belə modellərdən tez-tez istifadə olunur.

Regressiya xarakter daşımayan statistik modellərə torpağın vəziyyətinin (morfoloji, kimyəvi, fiziki və s.) statistik paylanma parametrlərindən, həm də tarla aqrokimyəvi eksperimentlərin nəticələrindən ibarət olan məlumatlar bazasını aid etmək olar.

Fiziki-statistik modellər. Onlar sistemə təsadüfi xassələrə malik elementlərin qarşılıqlı təsirlərinin məcmusu kimi baxılır. Modelə vəziyyətin göstəricilərinin paylanması funksiyası və komponentlərin (enerji və ya maddi nəticələrin) qarşılıqlı təsirlərinin qlobal xarakteristikası daxil edilir. Baxılan modellərin tətbiqi oblastı çoxsaylı amillərin nəticə verən əlamətə təsirinin qiymətləndirilməsi zərurəti yarandıqda qeyri-strukturturlaşdırılmış homogen sistemlərin təsviri ilə məhdudlaşır. Belə modellərdə kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığı ətraf mühit amillərinin (aqrokimyəvi xarakteristikaları, torpağın rütubət ehtiyatları, havanın temperaturu) onların optimal qiymətlərindən meyl etmələrinin empirik funksiyası kimi nəzərdən keçirilir.

Bitki məhsuldarlığının fiziki-statistik modellərindən biri «Hava-məhsul» sisteminin modelidir, ən müvəffəqiyyətlə tətbiq edilən modeldir və Kanada mütəxəssisi Bayer tərəfindən işlənmişdir:

$$y = \sum_{t=0}^m V_1 \cdot V_2 \cdot V_3, \quad (7.4)$$

burada y -məhsulun miqdarı; t -biometeoroloji vaxtdır, $t=0$ -dan $t=m$ -ə qədər dəyişir (səpin tarixi- $t=0$, cücmə tarixi- $t=1$, kolalama tarixi $t=2$ və s.); V_1, V_2, V_3 -asılı olmayan ilkin dəyişən kəmiyyətlərdən seçilmiş funksiyalar.

Hər bir V funksiyası aşağıdakı kimi təsvir edilir:

$$V = (u_1 t + u_2 t^2 + u_3 t^3 + u_4 t^4) + (u_5 t + u_6 t^2 + u_7 t^3 + u_8 t^4) x + (u_9 t + u_{10} t^2 + u_{11} t^3 + u_{12} t^4) x^2, \quad (7.5)$$

burada u_1, u_2, \dots, u_{12} -əmsallardır və hər bir funksiya üçün optimallaşdırılmanın ədədi üsulları vasitəsilə qiymətləndirilir; x

– V_1 , V_2 və ya V_3 –də sutka ərzində hava şəraitinin aşağıdakı xarakteristikalarından birini göstərir: havanın minimal və maksimal temperaturları, havanın nisbi rütubətliyi, faktiki və potensial buxarlanmanın nisbəti, cəm radiasiya.

Yuxarıda sadalanan 5 göstəricidən üç amil ən informativ kombinasiyaya malikdir: Günəş radiasiyası, havanın minimal temperaturu, faktiki və potensial buxarlanmanın nisbəti.

Modelin parametrlər toplusu Kanadada yazlıq buğdanın məhsuldarlığını formalaşdıran amillərlə qiymətləndirilmişdir.

Fiziki-statistik modelin digər təqdim olunan nümunəsinə Konstantinovun “hava-torpaq-məhsul” modeli aiddir. Bu sxemə görə, məhsuldarlıq bitkilərin bioloji xüsusiyyətlərinin (*bioloji blok*), hava şəraitinin (*meteoroloji blok*), torpağın münbitliyinin (*münbitlik bloku*) və aqrotexnikanın (*aqrotexniki blok*) təsiri altında formalaşır. Bütün amillərin təsiri ardıcıl olaraq hər bir fazalararası dövrlər üçün baxılır. Belə yanaşmanın köməyi ilə kənd təsərrüfatı bitkilərinin modelləri işlənmişdir. Bu modellərdə vegetasiya dövrünün meteoroloji şəraiti -havanın temperaturu və nisbi rütubətliyi, torpağın münbitliyi -məhsuldar rütubət ehtiyatları və həcmi çəki, aqrotexnika- gübrələrin növü və keyfiyyəti ilə xarakterizə olunmuşdur.

V.P.Dmitrenkonun işləyib hazırladığı fiziki-statistik model universaldır, belə ki, onun əsasında payızlıq buğdanın, yazlıq arpanın, qarğıdalının, kartofun, şəkər çuğundurunun və gü-nəbaxan bitkisinin məhsuldarlığının hesablanması və onun proqnozunun verilməsi metodikaları yaradılmışdır.

Dinamiki-statistik modellərin əsasları.

Torpaq-bitki-atmosfer sisteminin modelləşdirilməsində bitki örtüyü funksional və differensial vahid kimi qəbul edilir və onun dörd struktur tərkib hissəsinə -*yarpaqlara*, *gövdələrə*, *kök sisteminə* və *meyvələrə* baxılır. Bu zaman, bitkinin məhsuldarlığının formalaşması modeli aşağıdakı fərqli tənlilər sistemi kimi təsvir olunur:

$$\left. \begin{aligned} m_l^{j+1} &= m_l^j + f_l(M^j, X^j, A^j) \cdot \Delta\tau, \\ m_s^{j+1} &= m_s^j + f_s(M^j, X^j, A^j) \cdot \Delta\tau, \\ m_r^{j+1} &= m_r^j + f_r(M^j, X^j, A^j) \cdot \Delta\tau, \\ m_R^{j+1} &= m_R^j + f_R(M^j, X^j, A^j) \cdot \Delta\tau, \end{aligned} \right\} \quad (7.6)$$

burada, m_l, m_s, m_r, m_R -müvafiq olaraq yarpaqların, gövdələrin, kök sistemlərinin və reproduktiv orqanların vahid sahədə quru kütlələri; $\mathbf{M}^j - \mathbf{m}_l^j, \mathbf{m}_s^j, \mathbf{m}_r^j, \mathbf{m}_R^j$ -lərdən təşkil olunmuş vektor; X_j -mühit şəraitinin cari vəziyyətini xarakterizə edən vektor (məsələn, \mathbf{x}_1^j -günəş radiasiyası, \mathbf{x}_2^j -havanın temperaturu, \mathbf{x}_3^j -havanın nəmliyi, \mathbf{x}_4^j -yağıntılar); A_j -modelin parametrləri vektoru; j -cari, $j+1$ -isə gələcək vaxt ($j=0,1,2,\dots,N$); $\Delta\tau$ -vaxta görə addımdır (bir çox müasir modellərdə $\Delta\tau=1$ sutka).

(7.6) tənliklər sistemi ilə hesablamalar aşağıdakı ardıcılıqla aparılır: başlangıç vaxt anında yarpaqların, gövdələrin və köklərin məlum (ölçülmüş) qiymətləri (7.6) tənliklər sistemində yerinə qoyulur və bunlara görə $j=1$ sutkası üçün onların müvafiq qiymətləri hesablanır. Onlar da öz növbəsində biokütlənin ikinci sutka üçün ($j=2$ -ci sutka) hesablanmasında və beləliklə, vegetasiya dövrünün sonuna qədər ($j=N$) istifadə olunur:

$$\begin{aligned} \text{yarpaqlar} \quad & \mathbf{m}_l^0 \rightarrow \mathbf{m}_l^1 \rightarrow \dots \mathbf{m}_l^j \rightarrow \dots \mathbf{m}_l^{j-N} \rightarrow \mathbf{m}_l^N, \\ \text{gövdələr} \quad & \mathbf{m}_s^0 \rightarrow \mathbf{m}_s^1 \rightarrow \dots \mathbf{m}_s^j \rightarrow \dots \mathbf{m}_s^{j-N} \rightarrow \mathbf{m}_s^N, \\ \text{köklər} \quad & \mathbf{m}_r^0 \rightarrow \mathbf{m}_r^1 \rightarrow \dots \mathbf{m}_r^j \rightarrow \dots \mathbf{m}_r^{j-N} \rightarrow \mathbf{m}_r^N, \\ \text{sünbüllər} \quad & \mathbf{0} \rightarrow \mathbf{0} \rightarrow \dots \mathbf{m}_R^j \rightarrow \dots \mathbf{m}_R^{j-N} \rightarrow \mathbf{m}_R^N, \end{aligned}$$

(7.6) tənlikləri bir-birilə əlaqəlidir, buna görə də istənilən vaxt addımında bitkinin istənilən orqanının kütləsinin dəyişməsi son məhsula (\mathbf{m}_R^N) öz təsirini göstərir. (10.5) tənliyi bir sistemə $\mathbf{f}_p(\mathbf{M}^j, \mathbf{X}^j, \mathbf{A}^j)$, ($p \in l, s, r, R$) funksiyaları ilə birləşdirilib. Bu funksiyaların köməyi ilə yarpaqların, gövdələrin, köklərin və

reproduktiv orqanların quru kütlələrinin artımını üç amillər qrupundan (bitkinin cari vəziyyəti $-M_j$, xarici mühitin cari vəziyyəti $-X_j$ və modelin parametrləri $-A_j$) asılı olaraq hesablamaq mümkündür.

M_j vektorunun tərkib hissələri- yarpaqların, gövdələrin, köklərin, reproduktiv orqanların fitokütlələri- bitkilərin ümumi vəziyyətini təyin edir. Buna yarpaqların fotosintetik fəal sahəsini, kök sisteminin gücünü və s. aid etmək olar. Aydınır ki, fitokütlənin sutkalıq artımı əhəmiyyətli dərəcədə bu dəyişən kəmiyyətlər qrupundan asılıdır.

Dinamiki-statistik modellərin vacib xüsusiyyətlərindən biri X_j vektorunun (hava şəraiti vektoru) ölçüsünün çox da böyük olmamasından asılıdır. Hətta ən böyük dinamiki modellərdə belə X_j –nin tərkib hissələrinin sayı beşi keçmir. Bunlar *havanın temperaturu və rütubətliyi, günəş radiasiyası, yağıntılar və bəzi modellərdə isə küləyin sürətidir.*

A_j vektorunun tərkib hissələri modelin parametrləridir. Onların sayı modelin mürəkkəblilik dərəcəsi ilə təyin edilir. Sadə modellərdə bu rəqəm 10-dan çox deyil, ən mürəkkəb modellərdə isə 30-50 təşkil edir.

7.4. Aqroekosistemlərin modellərinin blok-sxem formasında təqdimi

Aqrobiosenozda baş verən prosesləri adətən blok formalı iyerarxik struktur şəklində təqdim edirlər. Modelin strukturu işlənərkən, blok-sxem prinsipindən istifadə edilir. Bu vaxt biotik və abiotik bloklar seçilir. Biotik blok içindəki prosesləri bitkinin böyüməsi və inkişafı, torpaq mikroflorasının fəaliyyəti, kənd təsərrüfatı bitkilərinin xəstəliklərinin ətrafa yayılması, entomofaunanın inkişafı, əkin bitkilərinin əlaq otları ilə qarşılıqlı təsirləri kimi ayrı-ayrı alt bloklara ayırırlar.

Abiotik bloklara torpağın yerətrafi hava təbəqəsinin istilik və su rejimlərinin formalaşması, biogen və toksik duzların konsentrasiyasının və yerdəyişməsinin, pestisidlərin parçalanma-

sının müxtəlif qalıqlarının, torpaqda böyümə maddələrinin və metabolitlərin, bitki örtüyündə karbon qazının konsentrasiyasının modelləri daxildir.

Modelin blok strukturu müəyyən blokları dəyişməmək şərtilə digər blokları öyrənməyə, dəyişməyə və detallaşdırmağa imkan verir. Bir qayda olaraq, blokların daxilindəki parametrlərin sayı blokları birləşdirən parametrlərin sayından əhəmiyyətli dərəcədə çoxdur. Bloklar əsasında tam dinamik modellər sintez olunur.

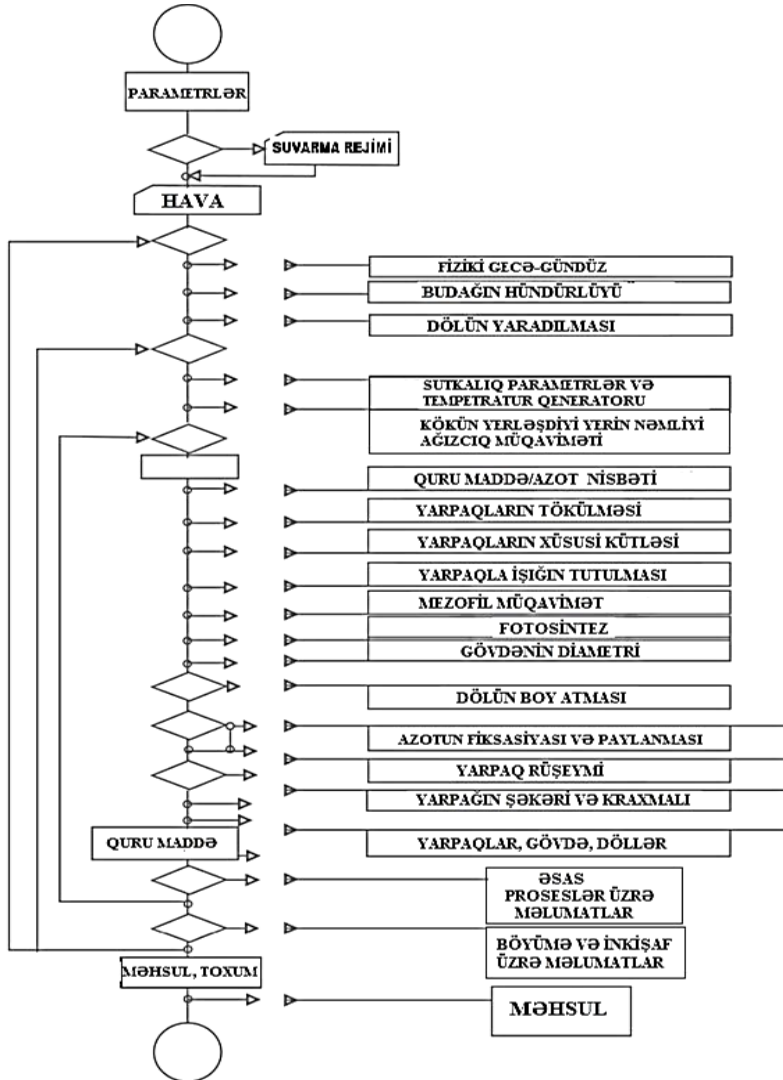
Nümunə kimi, soya bitkisinin modelinin (SOYMOD) blok-sxeminə baxaq. Blokların tərkibinə baxmamışdan əvvəl qeyd etmək lazımdır ki, bu, imitasion modeldir, müasir dövrdə kənd təsərrüfatı bitkilərinin ən ətraflı işlənmiş nümunələrindən biridir. Buraya altı blok və ya submodel (şəkil 7.3) və böyük miqdarda giriş məlumatları, eyni zamanda quru maddənin dörd kateqoriyası daxildir: struktur karbonatları, asan istifadə oluna bilən karbonatlar (bitki daxilində hərəkət edə bilən dayanıqsız birləşmələr), nişasta və zülallar. Bu maddələr müxtəlif morfoloji hissələr arasında paylanır: yarpaqların ləçəkləri və saplaqları, reproduktiv orqanlar və köklər. Hesab olunur ki, bitkinin böyüməsi və həyat fəaliyyəti prosesləri üçün lazım olan materiallar azot və karbondur. Onlar bitkilərin morfoloji hissələri arasında yerini dəyişir və bu hissələrdə böyümə, nəfəs alma, yeni orqanların yaranması, nəql prosesləri üçün realizasiya olunur.

Burada modelin bloklarının təyinatına bir qədər ətraflı baxmaq olar.

1) Meteoroloji informasiya blokunda modelin nəzarət olunmayan giriş təsirlərindən ibarət olan hava haqqında sutkalıq məlumatlar formalaşır. Bu vaxt həll edilən məsələnin xarakterindən asılı olaraq meteoroloji keçmişdəki vəziyyəti barədə informasiyadan, ya da hava generatoru vasitəsilə müvafiq generasiya olunmuş məlumatlardan istifadə imkanları mövcuddur.

2) Radiasiya və fotosintez bloku iki modifikasiyada yerinə yetirilib. Sadə variantda sutka ərzində bitki örtüyünün və torpaq

səthinin radiasiya balanslarının hesablanması nəzərdə tutulur. Tam variant bitkilər tərəfindən fotosintetik fəal radiasiyanın udulmasını və fotosintezin intensivliyini hesablayan əlavə alt-bloku nəzərdə tutur.



Şəkil 7.3. Soya bitkisinin modelinin blok-sxemi

3) Bitki örtüyünün su balansı torpaq rütubətliyinin dinamikası blokunda modelləşdirilir və iki variantda hazırlanmışdır. Bu variantlardan birində torpağa birtəbəqəli mühit, ikinci variantda isə çoxtəbəqəli mühit kimi baxılır.

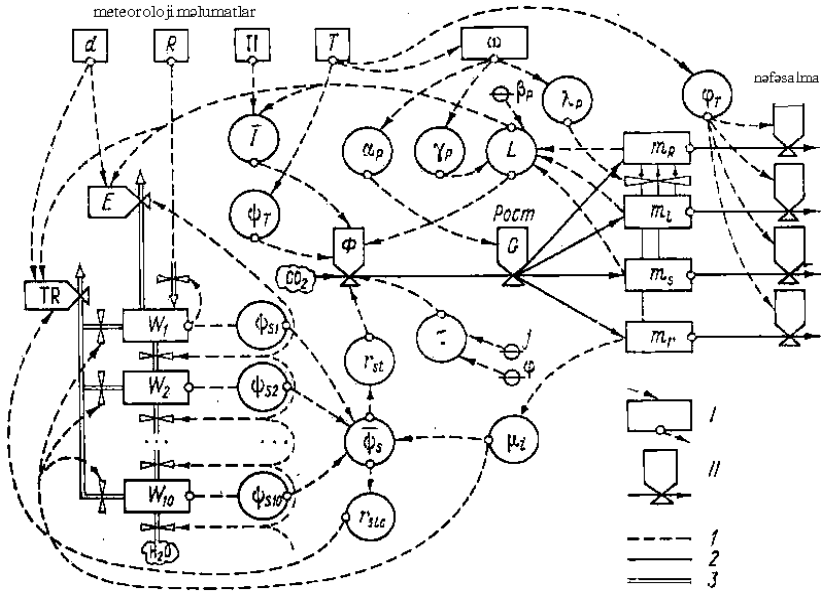
4) Bitkilərin böyüməsi və inkişafı blokunda baxılan proseslər bitkinin biokütləsinin artımı, yarpaq səthinin formalaşması dinamikası, fenoloji fazaların başlanması və son məhsulun formalaşması hesabına baş verir.

5) Hidrogeologiya bloku kök sistemi yerləşən torpaq qatının yeraltı sularla mümkün rütubət mübadiləsini nəzərə almaqla məsələnin aşağı sərhəd şərtini formalaşdırır. Bu blokda həm də rütubətlə doymamış torpaq qatları ilə rütubətlə doymuş torpaq qatları arasında əlaqə həyata keçirilir.

6) Qərarların qəbul edilməsi blokunda əsasən suvarma normalarının qiymətləri formalaşır. Onlar ya sadəcə olaraq istifadəçilər tərəfindən verilir, ya da modelə daxil edilmiş bu və ya digər meyarlar əsasında hesablanır.

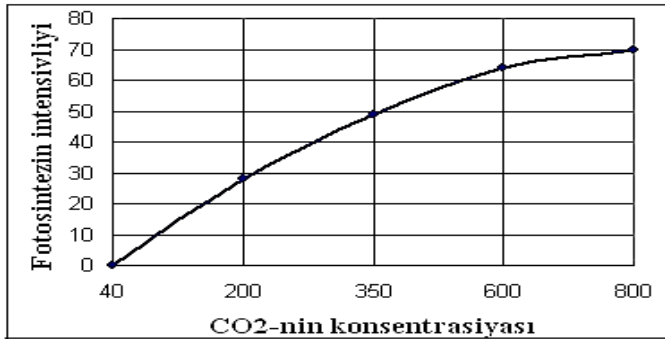
Beləliklə, blok-sxem modelin kəmiyyətə inkişafının yeni mərhələsini özündə əks etdirir. Adətən onları bir sıra standart şərti işarələrlə və yaxud diaqram formalı simvollarla təsvir etmək olar. Blok-sxemlərdə modelləşdirilən sistemin ayrı-ayrı komponentləri həm öz aralarında, həm də sistem üçün ətraf mühit sayılan məkanda enerji, kütlə və informasiya axımları ilə bir-birinə bağlıdırlar (şəkil 7.4).

Riyazi modellərdə karbon qazının bitkilərə təsirinin nəzərə alınması məsələləri. Bitki məhsuldarlığının bir çox dinamik modeli fotosintezin ən vacib elementlərindən olan karbon qazının konsentrasiyasını nəzərə almır. Bu da bir sıra hallarda, xüsusən də iqlim dəyişmələrinin kənd təsərrüfatı bitkilərinin məhsuldarlığına təsiri tədqiqatlarında etibarlı nəticələrin alınmasına imkan vermir. Belə ki, atmosferdə CO_2 qazının daha yüksək konsentrasiyası fotosintezi gücləndirir və yarpaq ağızcıqlarını kiçiltməklə transpirasiyanın azalması hesabına torpaq rütubətliyinin səmərəli sərfini yüksəldir.



Şəkil 7.4. Hava-məhsul dinamik-i-statistik modelində əlaqələr dinamikası. Şərti işarələr: I-səviyyələr; II-proseslər. Axımlar: 1-informasiya; 2-assimilyatlar; 3-su

Nümunə kimi, şəkil 7.5-də payızlıq buğda əkinlərində fotosintezin intensivliyinin CO_2 -dən asılılığı təsvir olunmuşdur.



Şəkil 7.4. Fotosintezin intensivliyinin CO_2 -nin konsentrasiyasından asılılığı, 1972-1973-cü illər, ABŞ-ın Nebraska ştatı

İdsonun tədqiqatlarında göstərilmişdir ki, CO₂ qazının atmosferdə konsentrasiyasının artması kənd təsərrüfatında müsbət effekt verə bilər və son 50-60 ilin yüksək məhsuldarlığı müəyyən dərəcədə (≈10%) bu amilin artmasından asılıdır.

İqlim dəyişmələri ilə əlaqədar aparılan model vasitəsilə tədqiqatların nəticələri də təsdiq edir ki, CO₂ qazının konsentrasiyasının bir tərəfdən iqlim sisteminin istiləşməsinə, digər tərəfdən isə məhsuldarlığın artmasına gətirib çıxara bilər.

O.D.Sirotkonun model hesablamaları göstərmişdir ki, torpaq rütubətliyinin çatışmazlığı şəraitində CO₂ konsentrasiyasının 340-dan 590 mln. ppm.-ə qədər artması məhsuldarlığın 90% artmasına gətirib çıxara bilər. Oxşar nəticələr bir sıra digər tədqiqatlarda da alınmışdır. Bunlar və digər nəticələr göstərir ki, kənd təsərrüfatı CO₂ qazının müasir sənaye hesabına atmosfərə atılmış hissəsinin 30%-ə qədərini uda bilər. Bu və digər səbəblərdən torpaq-bitki-atmosfer sisteminin dinamik modelində CO₂ qazının fotosintezin intensivliyinə təsiri nəzərə alınmışdır.

7.5. Dənli taxıl bitkilərinin tətbiqi riyazi modeli

Məsələnin qoyuluşu. Azərbaycan Respublikasında da dərsləyin müəlliflərindən biri tərəfindən bu istiqamətdə müəyyən tədqiqatlar aparılmışdır. Bu vaxt ən müasir riyazi aparat olan dinamik modeldən istifadə olunmuşdur. Bu model fiziki, kimyəvi, bioloji və fizioloji prosesləri və onların qarşılıqlı əlaqəsini təsvir edən və meteoroloji, aqrometeoroloji, torpaq və aqronomik amillərin tam kompleksini nəzərə alan bir sistemdən ibarətdir. Buna görə də torpaq, bitki və atmosfer üç hissəli vahid riyazi model vasitəsilə təsvir olunur və burada məhsuldarlıq, istilik və rütubətlik mübadiləsi prosesləri vahid bir tamlıqdan ibarətdir.

Payızlıq buğdanın məhsuldarlığının dinamik modelinin hazırlanması vaxtı əsas tələblər aşağıdakılar olmuşdur: ***tətbiqi istiqamət, modelləşdirilən proseslərin lazımı səviyyədə fiziki əsaslandırılması, modelin konstruksiyasının genişləndirilməsi***

imkanları, istifadə olunan alqoritmlərin effektivliyi, istifadə olunan blokların avtonomluğu, istifadə olunan alqoritmlərin səmərəliliyi, kompüter proqramlarının etibarlığı.

Modelin işlənməsi vaxtı bitkinin yer üstü hissəsi “yarpaqla” eyniləşir, kök sistemi isə dərinliyə görə şaquli paylanıb. Dənli bitkilərin məhsuldarlığı xarici mühitin müxtəlif şəraitlərində böyümə və onların inkişafı prosesləri ilə təyin olunur. Torpaq çoxtəbəqəli mühitdən ibarətdir və onun rütubətliyi və temperaturu bitkilərin böyüməsinə və inkişafına təsir edir. Torpaqdan buxarlanma və transpirasiya yerətrafi havanın biki örtüyünə təsirini xarakterizə edir və torpağın su balansının əsas çıxar hissələrindən ibarətdir.

Dənli bitkilərin böyüməsi və inkişafı, onların ayrı-ayrı orqanlarının dinamikasını və bitkilərin məhsuldarlığını təsvir edən adi differensial tənliklərdən ibarətdir. Onlar, bitkilərin ayrı-ayrı orqanlarının biokütlələrinin əmələ gəlməsi sürətlərini, cəmi fotosintezi, nəfəsalma proseslərini, sktruktur kütlələrinin deqradasiyasının sürətlərini, bitkilərin böyüməsinə və inkişafına təsir edən radiasiya, turbulent, su və istilik proseslərini, həmçinin yarpaqların fotosintetik səthlərinin sahəsini, bitkinin hündürlüyünü hesablamağa imkan verir. Bitki örtüyündə enerji –və kütlə mübadiləsi prosesləri bitki örtüyünün və torpaq səthinin istilik balansını və aqrosenozun su balansını təsvir edən balans tənliklər sistemi ilə təsvir olunub.

Torpaqda enerji - və kütlə mübadiləsi prosesləri xüsusi tərtibli differensial tənliklərlə təsvir olunub və onlar torpağın temperaturunun və rütubətliyinin şaquli profillərinin qiymətlərini hesablamağa imkan verir.

Modelin köməyi ilə bitkinin yarpaqlarının, gövdəsinin, kök sisteminin və reproduktiv orqanlarının sutkalıq kütləsini, fotosintezi, bitkilərin nəfəs almasını, bitki örtüyünün radiasiya, istilik və su balanslarının qiymətlərini, yağıntılardan infiltrasiyasını, suyun torpaq profilində paylanmasını, suyun kök sistemi tərəfindən udulmasını, atmosfer yağıntılarının yarpaqlar tərəfin-

dən tutulub saxlanmasını, torpaq profilinin temperaturunun sutkalıq paylanmasını, transpirasiyanı, buxarlanmanı, torpaq səthinin və yarpağın temperaturunu və s. parametrləri hesablamaq mümkündür.

Modelin qurulmasında blok-sxem prinsipindən istifadə olunmaqla dörd submodeldən və çoxsaylı bloklardan ibarətdir.

Bitki məhsuldarlığının submodeli. Modeldə bitki örtüyü funksional differensiallaşmış tam (m) kimi təqdim olunub və onun tərkibi 4 struktur vahiddən, yəni, ehtiyat karbonatlardan m_c , yerüstü hissənin m_s , kök sisteminin m_r və reproduktiv orqanların m_R kütlələrindən ibarətdir. Vegetasiya dövrünün istənilən sutkası üçün ehtiyat karbonatlar fondunun kütləsinin dinamikasının hesablanması vaxtı qəbul olunub ki, onların sutkalıq artımı sutkalıq cəmi fotosintezin məhsulundan, böyümə prosesində struktur kütlənin əmələ gəlməsi sürətindən, karbonatların böyüməyə və nəfəsalmaya sərf olunma sürətindən asılı olaraq formalaşır. Bitki sisteminin məhsuldarlığının və digər parametrlərinin hesablanması üçün istifadə olunan tənliklər bunlardır:

$$m = m_c + m_s + m_r + m_R, \quad (7.7)$$

$$\frac{dm_s}{dt} = [G_s \cdot \mu_s - Q_s \cdot \beta_s] \cdot m_s, \quad (7.8)$$

$$\frac{dm_r}{dt} = [G_r \cdot \mu_r - Q_r \cdot \beta_r] \cdot m_r, \quad (7.9)$$

$$\frac{dm_R}{dt} = G_R \cdot \mu_R \cdot \left[1 - \frac{m_R}{m} \right] \cdot m_R, \quad (7.10)$$

$$\frac{dm_c}{dt} = \gamma \cdot F + G_H \cdot m_H - k \cdot V_E - D_a, \quad (7.11)$$

$$\frac{dL}{dt} = K_1 \cdot G_s \cdot \mu_s \cdot m_s + K_2 \cdot G_R \cdot \mu_R \cdot \left(1 - \frac{m_R}{m} \right) \cdot m_R - K_3 \cdot L, \quad (7.12)$$

burada t -zaman; G -böyümə vaxtı struktur kütlələrin əmələgəlmə sürəti; Q -struktur kütlənin deqradasiya sürəti; μ -böyümə proseslərinin sürətinin qidalı mühit ehtiyatlarından asılılıq sürəti; β -struktur kütlələrin plastik hissəciklər ehtiyatlarından asılılığı sürəti; F - fotosintezin qiyməti; V_E - zülallərin böyüməyə istifadə edilməsi sürəti; m_m -reproduktiv orqanın maksimal kütləsi; γ -0.68 - sabit kəmiyyət; k -1.41 -böyümə prosesinin nəfəs alması əmsalı; S , r və R -indekslərdir və bitkinin yerüstü hissəsini, kök sistemini və reproduktiv orqanlarını göstərir; L - bitkinin fotosintetik fəal sahəsi; K_1 , K_2 və K_3 - empirik təyin edilən əmsallardır.

Aqroekosistemlərin riyazi modelləşdirilməsində sutka ərzində cəmi fotosintezin hesablanması ən vacib mərhələlərdən biridir. Bu amili ümumqəbul olunmuş formada belə yazmaq olar:

$$F = \int_{t_{g.ç.}}^{t_{g.b.}} [S \cdot F_{a.s.} + (1 - S) \cdot F_{b.s.}] dt, \quad (7.13)$$

burada $F_{a.s.}$, $F_{b.s.}$ – müvafiq olaraq günün buludsuz və buludlu hissələrində fotosintezin qiymətləri; S –günün səmanın tam buludla örtülü hissəsi; $t_{g.ç.}$, $t_{g.b.}$ - müvafiq olaraq Günəşin çıxdığı və batdığı vaxtlar.

$F_{a.s.}$, $F_{b.s.}$ hesablanarkən modifikasiya olunmuş Şartye düsturundan istifadə olunub:

$$F = \frac{\psi_t \cdot \psi_w}{2 \cdot (r - r_c)} + [C_{CO_2} + \alpha(t, L) \cdot r \cdot J(t, L)] - \sqrt{[\alpha(t, L) \cdot r \cdot J(t, L) - C_{CO_2}]^2 + 4 \cdot r_c \cdot \alpha(t, L) \cdot C_{CO_2} \cdot J(t, L)}, \quad (7.14)$$

burada ψ_t – yarpaqların temperaturunun fotosintezin intensivliyinə təsiri funksiyası; ψ_w – torpağın su rejiminin fotosintezin intensivliyinə təsiri funksiyası; r - fotosintezə cəmi müqavimət əmsalı; r_c - fotokimyəvi müqavimət əmsalı; C_{CO_2} - havada karbon qazının konsentrasiyası; $J(t, L)$ – yarpağın vahid səthinin

udduğu fotosintetik fəal radiasiyanın intensivliyi; $\alpha(t, \mathbf{L})$ - bitki örtüyünün radiasiyanı buraxması əmsalı; \mathbf{L} –yarpaq indeksidir.

Günəş radiyasiyası həm fotosintez, həm də transpirasiya və buxarlanma proseslərini idarə edir. Bu vaxt Günəş radiyasiyasının fotosintetik fəal hissəsi fotosintez, cəm radiyasiyası isə transpirasiya və buxarlanma üçün əhəmiyyətlidir. Fotosintetik fəal radiasiyanın intensivliyi düz və səpələnən radiasiyadan, Günəş sabitindən və atmosferin şəffaflıq xarakteristikalarından asılıdır. Düz və səpələnən radiasiya məlum astronomik düsturlarla hesablanır. Bitki örtüyünün radiasiyanı buraxması əmsalı buludsuz səmada müvafiq əmsallardan, yarpaq indeksindən, φ coğrafi enliyində t vaxtında Günəşin üfüqdə hündürlüyündən, buludlu səmada isə yarpaq indeksindən və müvafiq əmsallardan asılıdır.

Aqroekosistemlərin məhsuldarlıq proseslərinin riyazi modelləşdirilməsində ən vacib hallardan biri fotosintez məhsulunun bitkinin ayrı-ayrı orqanları arasında paylanması məsələsinin həll edilməsidir. Burada O.D.Sirotenko tərəfindən modifikasiya edilmiş Tornli düsturundan istifadə olunmuşdur:

$$\mu_{s,r,R} = C^n / (K^n + C^n), \quad C = \frac{m_c}{m_c + m_s + m_r} \quad (7.15)$$

burada C – fond karbonatlarının konsentrasiyası; K və n – parametrlərdir.

Məhsulun formalaşması prosesi modelləşdirilərkən qəbul olunmuşdur ki, reproduktiv orqanlardan başqa digər orqanların struktur böyümələri bitkinin çiçəkləmə fazasında sona yetir, bundan sonra ancaq dənin dolması baş verir. Beləliklə, dənli bitkilərin məhsulunu hesablamaq üçün aşağıdakı düsturlardan istifadə edilmişdir:

$$Y = N_d \cdot m_s + m_k \frac{N_d}{k_p},$$

$$N_d = n + 0.01 \cdot \left[m_s + \frac{m_s \cdot m_c}{m_s + m_R} \right], \quad (7.16)$$

burada N_d – bir sünböldə dənin sayı; m_k - sünbüllərin quru maddəsinin kütləsi; k_p - əmsal; $n=0.2$ dənin formalaşmasının birinci mərhələsində nisbi sürətdir.

Bitki örtüyünün enerji və maddələr mübadiləsinin submodeli. Bitki örtüyünün enerji – və kütlə mübadiləsi proseslərini bitki örtüyünün və torpaq səthinin istilik balanslarını və bitki örtüyünün su balansını təsvir edən balans tənlikləri sistemi vasitəsilə öyrənmək olar. Bu submodel nisbətən sadə və fiziki cəhətdən əsaslandırılmışdır ki, onu konkret istismar şəraitinə sazlamaq olar:

$$\chi \cdot E_L = R_L - H_L, \quad (7.17)$$

$$\chi \cdot E_S = R_S - H_S - G, \quad (7.18)$$

$$E_L = (\psi_L - \psi_S) \cdot A, \quad (7.19)$$

$$H_L = L \cdot \rho \cdot C_\rho \frac{(T_L - T_a)}{r_a}, \quad (7.20)$$

$$H_S = \rho \cdot C_\rho \frac{(T_s - T_a)}{r_a'}, \quad (7.21)$$

$$E_L = L \cdot \rho \frac{(q_l - q_a)}{r_a + r_{st}}, \quad (7.22)$$

$$E_S = \rho \frac{(q_s - q_a)}{r_a'' + r_{ss}^i}, \quad (7.23)$$

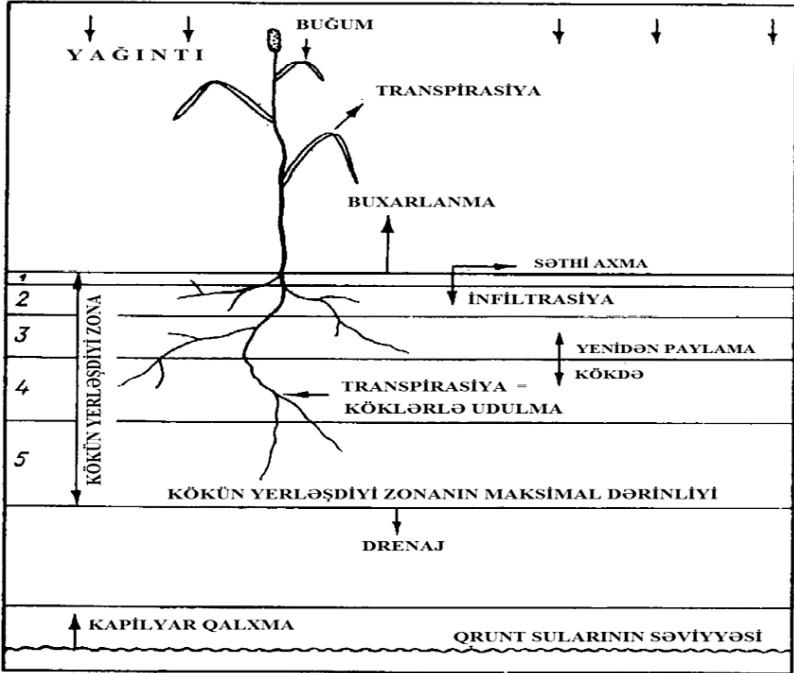
burada χ -buxarlanmanın gizli istiliyi; E_L -transpirasiyanın intensivliyi; E_S -torpaqdan buxarlanmanın intensivliyi; R_S -torpaq səthinin radiasiya balansı; R_L -bitki örtüyünün radiasiyaya balansı; H_L və H_S -bitki örtüyündən və torpaq səhindən turbulent istilik axımı; G - torpağa istilik axımı; A - kök sisteminin xarak-

teristikalarına və torpaq-kök sisteminin hidravlik keçirməsinə əsasən hesablanan parametr; $\rho=1.2 \text{ kq/m}^3$ -havanın sıxlığı; $C_p=1000 \text{ C/kq}$ -havanın istilik tutumu; T_s -torpaq səthinin temperaturu; r'_a -torpaq-hava yolunda su buxarının daşınmasına müqavimət əmsalı; r''_a -torpaqdakı buxarlanma zonasından havaya daşınan su buxarına müqavimət əmsalı; r'_{ss} -buxarlanmaya cəlb olunan torpaq təbəqəsinin müqavimət əmsalı; q_1 –buxarlanmada iştirak edən torpaq təbəqəsinin xüsusi rütubətliyi; q_a -yerətrafi atmosferin havasının xüsusi rütubətliyi.

(7.17) – bitki örtüyünün istilik balansı, (7.18) -torpaq səthinin istilik balansı, (7.19)- aqrosnozun su balansı, (7.20) və (7.22) -müvafiq olaraq bitki örtüyündə istiliyin və rütubətin turbulent axınları, (7.21) və (7.23) -müvafiq olaraq torpaq səthində istiliyin və rütubətin turbulent axınları tənlikləridir. Bu tənliklər sistemi bitkinin yarpağının temperaturunu, torpaq səthinin temperaturunu, torpaqdan fiziki buxarlanmanın və yarpaqlardan transpirasiyanın faktiki və potensial qiymətlərini, torpağa istilik axımını hesablamağa imkan verir.

Torpağın su rejiminin submodeli. Məlumdur ki, torpaq rütubətliyinin dinamikası fiziki buxarlanma və transpirasiya, atmosfer yağıntıları və ya suvarma hesabına suyun torpağa daxil olması, torpaq qatları arasındakı rütubət mübadiləsi, baxılan nöqtəyə yandan üfüqi rütubət daşınması, qrunt sularının mümkün yuxarıya qalxması prosesləri ilə şərtləndirilir (şəkil 7.5).

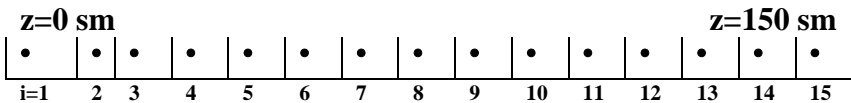
Submodelin əsasını aşağıdakı fərziyyələr təşkil edir. 1) Torpaq üfüqi istiqamətdə bircinsdir. 2) Kök sistemi rütubətin torpaqda paylanmasına ancaq şaquli istiqamətdə əhəmiyyətli təsir göstərir. 3) Rütubətin hərəkətinə qeyri-izotermik şəraitdə baxılır (bu, filtirasiya əmsalı vasitəsilə həyata keçirilir). Bu şərtlər çərçivəsində torpağın su rejimini təyin edən rütubət-keçirmə tənliyi xüsusi tərtibli differensial tənlikdir və aşağıdakı kimi yazılır:



Şəkil 7.5. Torpağın su balansını təyin edən komponentlərin əlaqələrinin sxemi

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial(\psi + z)}{\partial z} \right) + d, \quad (7.24)$$

burada W - torpaq profilinin vaxta görə rütubəti (0-150 sm dərinliyə qədər, (şəkil 7.6)); t - zaman; z - aşağı istiqamətlənmiş şaquli koordinat; ψ - torpaq rütubətinin su potensialının modulu; K - hidravlik sukeçirmə əmsalı; d - mənbə-axın əmsalıdır.



Şəkil 7.6. Torpaq profilinin dərinliyə görə sxemi

Tənliyin ədədi sxeminin işlənilməsi vaxtı sonlu-fərq sxemindən istifadə etməklə laylı-balans yanaşması tətbiq olunub. Məsələ qeyri-xətli olduğu üçün onun həlli iterasiya üsulu ilə tapılır. Hesablamalar 10 sm-lik qatlara bölünmüş torpağın 150sm-lik dərinliyi üçün aparılır və 0-150 sm-lik qatda cəmi torpağın rütubət ehtiyatları buxarlanma, transpirasiya, atmosfer yağıntıları və aşağıda yerləşmiş torpaq qatı ilə rütubət mübadiləsi hesabına formalaşır. Modeldə vaxta görə addım 3 saat, atmosfer yağıntılarının nəzərə alınması vaxtı isə-1saatdır. Torpağın su rejiminin riyazi modelləşdirilməsində ən vacib suallardan biri transpirasiya, buxarlanma və yağıntıların torpağa süzülməsi proseslərinin korrekt nəzərə alınmasıdır. (7.24) tənliyinin mənbə-axın əmsalı (d) belə hesablanır:

$$d = -d^{TR} - d^E + d^{yağış}, \quad (7.25)$$

burada d^{TR} – yarpaqdan transpirasiyanın intensivliyi; d^E – torpaqdan buxarlanmanın intensivliyi; $d^{yağış}$ - yağış və ya suvarma sularının torpağa daxil olması sürətidir.

Torpağın istilik rejiminin submodeli. Bu submodel vasitəsilə torpağın 150 sm dərinliyinə qədər hər 10 sm-lik torpaq qatının temperaturunu hesablamaq mümkündür. Bu vaxt torpaq rütubətliyinin istiliyin daşınmasına təsiri effektiv istilik keçiricilik əmsalı vasitəsilə nəzərə alınır, hərəkət edən rütubət vasitəsilə istiliyin daşınması nəzərə alınmır. Sərhəd şərtləri çərçivəsində aşağıdakılar qəbul olunur:

1) Torpaq səthinin temperaturu burada məlum hesab olunur ($z=0$ sm yuxarı sərhəd şərti);

2) Torpağın aşağı sərhədində (150 sm-lik dərinlikdə) (aşağı sərhəd şərti) temperaturun qiyməti məlumdur;

3) Hesablamaların başlanması vaxtı torpaq profilinin temperaturu məlumdur.

Submodelin tənliyi xüsusi tərtibli differensial tənlik olan torpağın istilikkeçirmə tənliyidir:

$$\frac{\partial(C_s \cdot T_s)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_s \frac{\partial T_s}{\partial z} \right) - d^T, \quad (7.26)$$

burada T_s - torpaq profilinin vaxta görə temperaturu (0-150 sm dərinliyə qədər); t - zaman; z - aşağı istiqamətlənmiş şaquli koordinat; C_s - torpağın həcmi istilik tutumu; λ_s - torpağın istilik keçirmə əmsalı; d^T - istiliyin daxili mənbələridir ($d^T = \chi \cdot \rho \cdot E$).

$$C_s = W \cdot C_W + \gamma_s \cdot C_o, \quad (7.27)$$

burada C_W - suyun həcmi istiliktutumu; C_o – torpaq skeletinin xüsusi istiliktutumu; γ_s - torpağın sıxlığıdır.

Torpağın istilik keçirmə əmsalının hesablanması üçün aqrofizik alim Çudnovski tərəfindən aşağıdakı empirik ifadə alınmışdır:

$$\lambda_s = a_s \cdot C_s, \quad (7.28)$$

$$a_s \left[m_1 \left(10^2 \frac{\Theta_s \cdot \rho_w}{\gamma_s} - m_4 \right)^2 + 10^{-3} m_2 \cdot \gamma_s + m_3 \right] \cdot 10^{-7}, \quad (7.29)$$

burada m_1, m_2, m_3, m_4 - parametrlərdir (qiymətləri cədvəl 7.1-də verilmişdir).

(7.21) tənliyinə daxil olan torpağa istilik axını belə hesablanır:

$$G = \lambda_s \cdot (T_s - T_h) / h = \lambda_s \cdot (T_s - T_a) / h + \lambda_s \cdot (T_a - T_h) / h, \quad (7.30)$$

burada T_h – h sm dərinliyində torpağın temperaturudur.

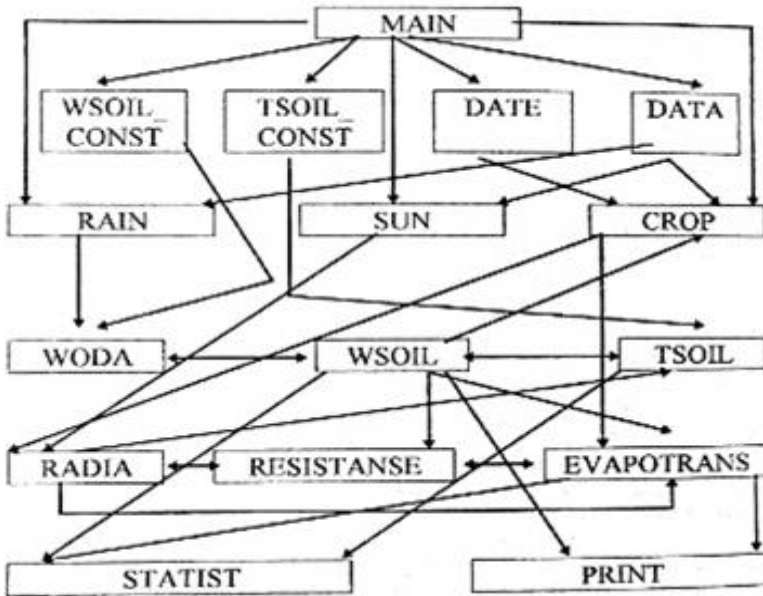
Cədvəl 7.1

Müxtəlif torpaq tipləri üçün m_1, m_2, m_3, m_4, C_o əmsallarının qiymətləri

Torpaq tipi	m_1	m_2	m_3	m_4	C_o
qumlu	-0.00067	2.1	1.35	20	840
qara torpaq, gillicə	-0.013	3.1	1.21	20	1050
qara torpaq, orta gillicə	-0.0104	2.4	0.64	20	1050
qara torpaq, ağır gillicə	-0.013	3.1	1.21	20	1050
qara torpaq, gilli	-0.013	3.1	1.21	20	1050

(7.26) tənliyi ədədi olaraq sonlu-fərq üsulu ilə həll edilir.

Dinamiki riyazi modelin proqram təminatı. Riyazi modeləşdirmədə ədədi təhlilin kompleks proqramları əsasən köməkçi rolunu oynayır və dinamiki model üçün həm giriş, həm də çıxış informasiyasını verilmiş formaya çevrilməsini təmin edir, modelin blokları və altblokları arasında qarşılıqlı münasibətləri əlaqələndirir. Bu əlaqələri təşkil edən sxem şəkil 7.7-də verilmişdir.



Şəkil 7.7. Dinamiki modelin blokları və altblokları arasında qarşılıqlı əlaqələrin təşkilinin sxemi

MAIN – baş proqramdan ibarətdir. Burada altproqramlar arasında qarşılıqlı əlaqələr təşkil olunur. O, həm sutka üzrə, həm də sutkadaxili hesablamaların aparılmasını təşkil edir.

WSOIL_CONST altproqramında buxarlanma prosesinin, transpirasiyanın, atmosfer yağıntılarının uçotu, həm də torpaq rütubətliyini hesablamaq üçün lazım olan torpağa aid müxtəlif model parametrləri verilir və ya hesablanır.

TSOIL_CONST altproqramında torpağın temperatur profilinin hesablanması və temperaturun başlanğıc profilinin təyini üçün lazım olan parametrlər verilmiş, alqoritmlər proqramlaşdırılmışdır.

DATE altproqramında vaxtı və ərazini xarakterizə edən sabit parametrlər, yəni ərazinin coğrafi enliyi, fenoloji tarixlər və s. verilir.

DATA altproqramında başlanğıc məlumatların daxil edilməsi və onun sutka daxilində paylanması təşkil olunur.

RAIN altproqramı hər sutka çağrılır və effektiv yağıntı miqdarını hesablayır.

SUN altproqramı Günəşin üfüqdə hündürlüyünü, günün uzunluğunun və gün ərzində səmanın nə qədər müddətdə buludlu olacağı vaxtın hesablanması üçün nəzərdə tutulmuşdur və hər sutka çağrılır.

FOTOSYN altproqramı fotosintezin intensivliyinin hesablanmasını təmin edir və hər sutka çağrılır.

CROP altproqramı bitki örtüyünün yarpaq indeksinin (yarpaqların nisbi sahəsi), bitkinin hündürlüyünün, bitkinin məhsuldarlığının, kök sisteminin kütləsinin, onun torpaq qatları üzrə paylanmasının hesablanmasını təşkil edir.

WATER altproqramında torpağın rütubətkeçiriciliyi tənliyini həll etmək üçün buxarlanmanın, transpirasiyanın və effektiv yağıntıların miqdarlarının nəzərə alınması təşkil olunur və hər sutka çağrılır.

WSOIL altproqramı torpağın rütubətkeçiriciliyi tənliyini lazımı informasiya ilə təmin edir və onun həllini həyata keçirir. Burada həm də yarpaqların su potensialının, aqrosenzun məhsuldarlığının, dərinliyə görə torpaq temperaturunun hesablanması üçün bir sıra parametrlər müəyyənləşdirilir. Sutka daxilində 8 dəfə çağrılır.

TSOIL altproqramı torpağın istilikkeçiriciliyi tənliyinin həllini təşkil edir və sutka daxilində 8 dəfə çağrılır.

RADIA altproqramında bitki örtüyünün və torpaq səthinin radiasiya və istilik balanslarının tərkib hissələri, həm də bitki örtüyünün su balansı, torpaq səthinin temperaturunun hesablanması təşkil edilir.

RESISTANCE altproqramı modeldə su buxarının atmosferə daşınmasına müqavimət göstərən əmsalların hesablanmasını təmin edir.

EVAPOTRANS altproqramı torpaqdan fiziki buxarlanmanın və bitki örtüyündən transpirasiyanın və yarpaqların temperaturunun hesablanmasını təmin edir.

STATIST altproqramı modelləşdirmənin nəticələrinin və digər məlumatların statistik emalını həyata keçirir.

PRINT altproqramı müxtəlif formalı giriş və ya çıxış (hesablanmış) informasiyanı çapa ötürür.

Bütün bu işlər **FORTRAN** proqram dilində yazılmış və komüter texnikasının köməyi ilə həyata keçirilmişdir.

Dinamiki modelin biz tərəfindən yaradılmış alqoritmik və proqram təminatı modelə daxil olan hər bir blokun və altblokun avtonomluğunu təmin edir ki, bu da onların başqa əlaqədar bloklarla əvəz olunmasına şərait yaradır. Bunlardan başqa, modelə başqa prosesləri özündə əks etdirən blok və altblokları da əlavə etmək olar.

Modelin informasiya təminatı. Dinamiki modellərin imkanları əhəmiyyətli dərəcədə onun informasiya təminatı ilə təyin olunur və onlar modeli giriş (başlanğıc) məlumatlarla təmin edirlər. Təqdim olunan modeldə informasiya təminatının əsaslarını aşağıdakılar təşkil edir.

1) Meteoroloji informasiya – hesablama dövrü üçün havanın temperaturunun, atmosfer yağıntılarının, küləyin sürətinin, havanın nisbi rütubətliyinin (və ya rütubət çatışmazlığının) və buludluğun ümumi miqdarının (və ya Günəş parıltısının davamiyyətinin) 8-müddətli və ya sutkalıq qiymətləri;

2) Aqrometeoroloji informasiyaya daxildir: $NS_{gün}$, NS_{ay} – payızlıq buğdanın səpin günü və ayı və ya hesablamanın baş-

lanması günü və ayı; $KC_{gün}$, KC_{ay} – taxılın təzəcə cücərməş günü və ayı; $KD_{gün}$, KD_{ay} – payızda vegetasiyanın dayanması günü və ayı; $KB_{gün}$, KB_{ay} – yazda vegetasiyanın bərpası günü və ayı; $KÇ_{gün}$, $KÇ_{ay}$ – çiçəkləmə fazasının başlanması günü və ayı; $KM_{gün}$, KM_{ay} – taxılın mum yetişməsinin başlanması günü və ayı; $KT_{gün}$, K_{ay} – taxılın tam yetişməsinin başlanması (və hesablamaların qurtarması) günü və ayı. Bitkilərin səpin və yazda vegetasiyanın bərpası tarixlərində torpağın 15 qatı üzrə rütubət ehtiyatlarının qiymətləri. Qeyd etmək olar ki, dinamik modelə aparılan hesablamaların dəqiqliyi bu məlumatların düzgün verilməsindən çox asılıdır

3) Aqrohidroloji informasiya. Torpağın aqrohidroloji sabitləri torpağın ən vacib su-fiziki xassələrindən biridir və onların düzgün verilməsi hesablama dəqiqliyini əhəmiyyətli artırır. Onlar hər bir 10-sm-lik torpaq qatı üçün 150 sm dərinliyə qədər verilir. Onlara aiddir: $W^{t.s.t.}$ – torpağın tam su tutumu; $W^{a.k.s.t.}$ – torpağın ən kiçik su tutumu; $W^{t.s.r.}$ – bitkinin tam solma rütubətliyi; $W^{m.h.}$ – torpağın maksimal hiqroskopikliyi; γ - torpağın sıxlığı.

4) Torpağın istilik-fiziki xassələrini əks etdirən informasiya.

5) Hesablama aparılan məntəqənin coğrafi enliyi.

6) Modelin sabit kəmiyyətləri.

7) Torpağın və bitkilərin ilkin vəziyyətinin xarakteristikaları. Bunlara hesablamaların başlanması tarixinə bitki yarpağının və kökünün quru kütləsi, torpağın 150 sm dərinliyinə qədər hər 10 sm-lik qatlar üçün rütubətliyin miqdarı və həmin qatların temperaturu daxildir.

Lazım gəldiyi hallarda hesablamaların başlanğıc tarixləri üçün torpaq profilinin rütubətliyinin və temperaturunun təyini üçün müvafiq alqoritmlər işlənmişdir.

Modeldə aşağıdakı variantlar da nəzərdə saxlanılmışdır: - havanın rütubət çatışmazlığı barədə faktiki müşahidə məlumat olmadığı hallarda şəh nöqtəsinin temperturundan və ya nisbi

rütubətliliyin qiymətlərindən istifadə olunur; -Günəş parıltısının davamiyyəti barədə məlumat olmadıqda isə buludluğun ümumi miqdarından istifadə edilir; - havanın maksimal və minimal temperaturları və havanın rütubətliyinin orta sutkalıq qiymətlərindən istifadə etməklə havanın temperaturunun və rütubət çatışmazlığının suktalıq gedişini almağa imkan verən alqoritmlər işlənmişdir.

"Torpaq-bitki-atmosfer" sisteminin dinamik modelinin adekvatlığının yoxlanılması. Modelin adekvatlığını yoxlamaq üçün aşağıdakı əsas elementlərin faktiki və hesablanmış qiymətlərinin müqayisəli təhlilindən ((**a**) **torpağın 0-20, 0-50 və 0-100 sm dərinliklərində torpaq rütubətinin qiymətləri; (b) dənli taxıl bitkilərinin məhsuldarlığının qiymətləri**) və bu məqsədlə Azərbaycan Respublikasının müxtəlif torpaq-iqlim şəraitində yerləşən aşağıdakı hidrometeoroloji stansiyaların müvafiq məlumatlarından istifadə olunmuşdur: Xaçmaz, Mərəzə, Zaqatala, Oğuz, Kürdəmir, Göyçay, Cəfərhan, Biləsuvar, Göytəpə, Fizuli, Xankəndi, Tər-Tər, Gəncə, Naxçıvan və Şərur.

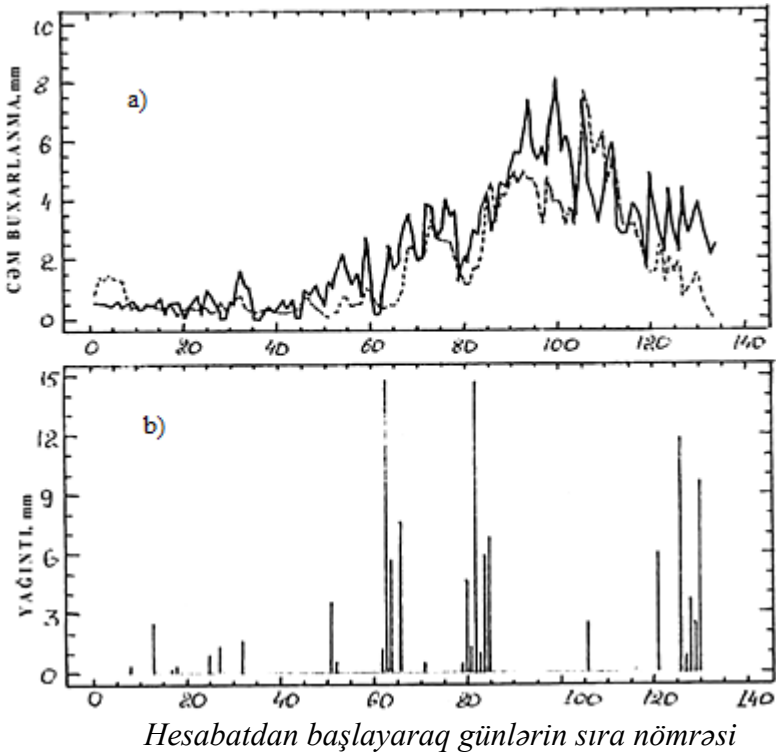
Dinamik modelin adekvatlığının yoxlanılması aşağıdakı model nəticələrinin onların faktiki qiymətlərinin müqayisəsi yolu ilə həyata keçirilmiş, hesablama dəqiqliyi statistik üsullarla qiymətləndirilmişdir:

- 1) Cəmi buxarlanma;
- 2) torpaq səthinin, 0-10 sm və 10-20 sm –lik torpaq profilinin temperaturu;
- 3) torpaq profilinin rütubətliyi;
- 4) payızlıq buğdanın məhsuldarlığıdır.

Cəmi buxarlanma. Hesablamalarda Rusiyanın Valday aqrohidroloji stansiyasında 1964 və 1972-ci illərdə aparılmış ən dəqiq müşahidə məlumatlarından istifadə edilmişdir. Burada yazlıq buğdanın əkin sahəsində cəmi buxarlanma üzrə faktiki sutkalıq müşahidələr 76 gün ərzində Böyük Hidravliki Buxarlandırıcılar vasitəsilə aparılmışdır. Əlavə olaraq, Rusiyanın Rostov vilayətində yerləşmiş Semikarakorsk aqrometeoroloji

stansiyasında 1981-1983-cü illərdə yazlıq arpanın, payızlıq buğdanın əkin sahələrində və dəmyə sahədə quraşdırılmış hidravlik buxarlandırıcıların kiçik modellərinin sutkalıq məlumatlarından da istifadə olunmuşdur.

1982-1983-cü illərdə Semikarakorskda payızlıq buğda sahəsindən cəmi buxarlanmanın faktiki və hesablanmış qiymətlərinin dinamikası şəkil 7.8-də təsvir olunmuşdur.

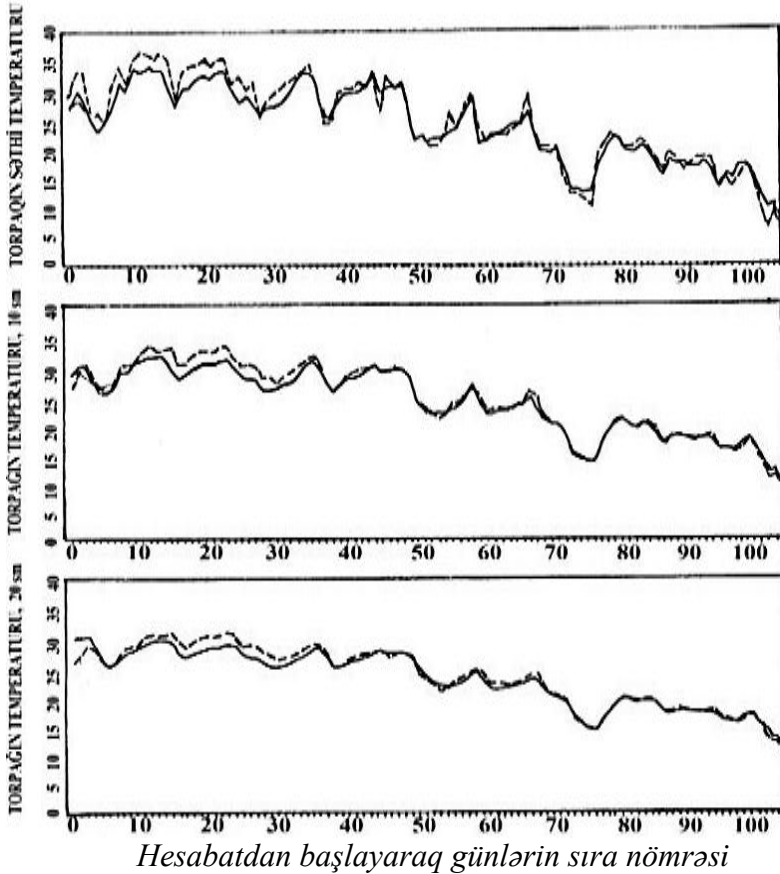


Şəkil 7.8. Cəmi buxarlanmanın faktiki (EF) və hesablanmış (EH) qiymətlərinin sutkalar üzrə dinamikası (a) (bütöv xətt – faktiki qiymət, qırıq-qırıq xətt- hesablanmış qiymət) və həmin dövrdə atmosfer yağıntılarının sutkalıq miqdarının gedişi (b)

Şəkildə əsasən cəmi buxarlanmanın faktiki (EF) və hesablanmış (EH) qiymətlərinin nəticələri üzrə qrafiklər qurul-

muş və sutkalar üzrə proseslərin dinamikası nəzərdən keçirilmiş, həmçinin həmin dövrdə atmosfer yağıntılarının sutkalıq miqdarının gedişatının dəyişməsinə baxılmışdır.

Torpağın temperaturu. Şəkil 7.9-da 1981-ci ildə Semi-karakorsk stansiyasında dəmyə əkin sahəsində torpaq səthinin və 10 və 20 sm-lik torpaq qatlarının temperaturlarının faktiki və hesablanmış qiymətlərinin dinamikaları təsvir olunmuşdur.



Şəkil 7.9. Torpaq səthinin və 10 və 20 sm-lik torpaq qatlarının temperaturlarının faktiki və hesablanmış qiymətlərinin dinamikaları (bütöv xətt – faktiki qiymət, ştrix xətt- hesablanmış qiymət)

Torpaq rütubətliyi. Modelin adekvatlığının yoxlanılmasının dəqiqlik göstəriciləri kimi 0-20, 0-50 və 0-100 sm torpaq qatlarında ümumi rütubətliyin faktiki və hesablanmış qiymətləri istifadə olunmuşdur.

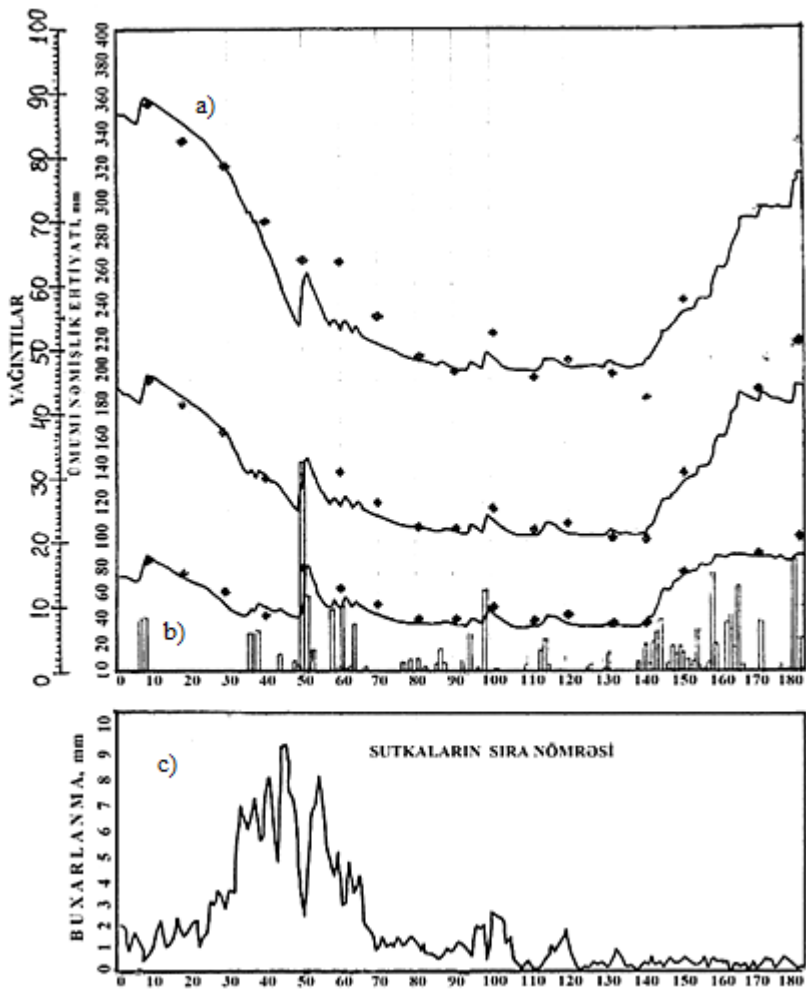
Hesablamalarda Rostov vilayətinin Semikarakorsk stansiyasında dəmyə əkin sahəsinin, yazlıq arpa sahəsinin və payızlıq buğda sahəsinin bir sıra illər üzrə və Azərbaycan Respublikasının 1981-1985-ci illər 101 il-stansiyasının həm suvarılan, həm də dəmyə torpaq sahələrindəki məlumatlarından istifadə olunmuşdur. Müqayisələrin bəzi nəticələri şəkil 7.10 və 7.11-də verilmişdir.

Payızlıq buğdanın məhsuldarlığı. Dinamiki modelin payızlıq dənli bitkilərinin məhsuldarlığının hesablanması dəqiqliyinin qiymətləndirilməsinin nəticələri şəkil 7.12 və 7.13-də verilmişdir.

"Torpaq-bitki-atmosfer" sisteminin dinamiki modelinin praktiki tətbiqi məsələləri. Dinamiki modellərin işlənilməsinin başlıca məqsədlərindən biri onların praktiki məsələlərin həllində istifadə edilməsidir. Bunlar nəzərə alınaraq aşağıda dinamiki modelin konkret tətbiq oluna bilinəcək məsələlərinə baxılır.

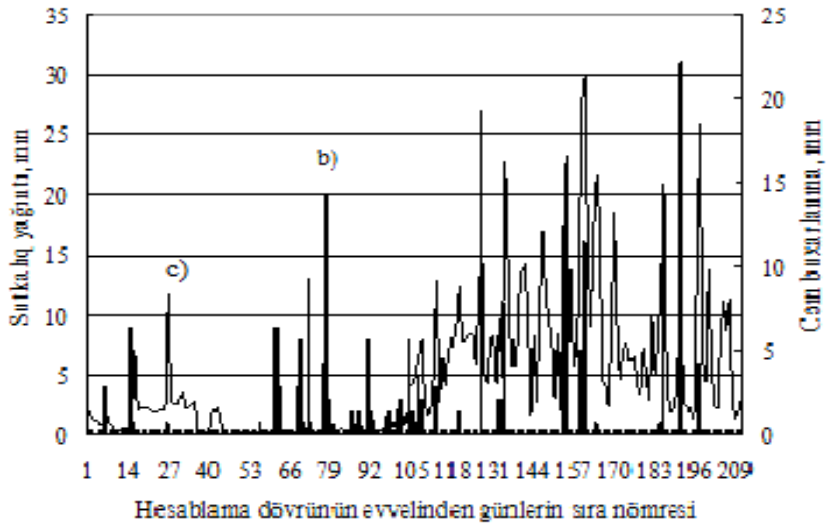
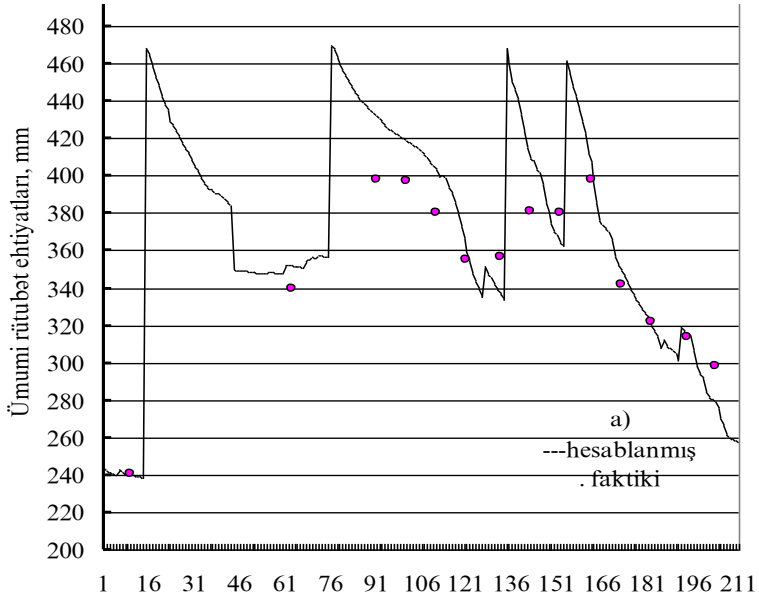
1) *Ədədi eksperimentlərin köməyi ilə torpağın quruması rejiminin və quraqlıq şəraitinin tədqiqi.* Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, dinamiki modelin torpaq rütubətliyi submodeli vasitəsilə avtonom rejimdə hesablamalar aparmaq olar. Bunun üçün bitkisiz əkin sahəsinin götürülməsi və buxarlanmanın sutkalıq faktiki qiymətlərinin verilməsi kifayətdir.

Torpağın maksimal hiqroskopik rütubətliyi $W^{m.h.}$ səviyyəsinə qədər quruması dinamikasının öyrənilməsi üçün bütün hesablama dövrünün hər suktası üçün torpaqdan buxarlanmanın üç qiyməti (3, 6 və 9 mm) verilmişdir. Torpağın profilinin başlanğıc rütubətliyi $W^{p.k.s.t.}$ bərabər götürülmüşdür. Hesablamaların nəticələri şəkil 7.14-də verilmişdir.

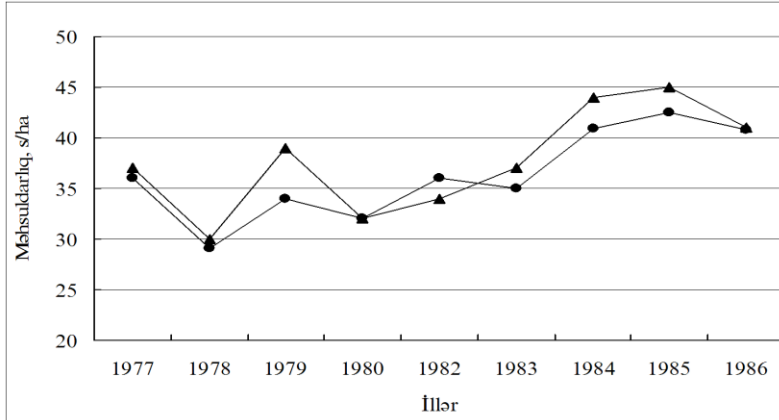


Hesabatdan başlayaraq günlərin sıra nömrəsi

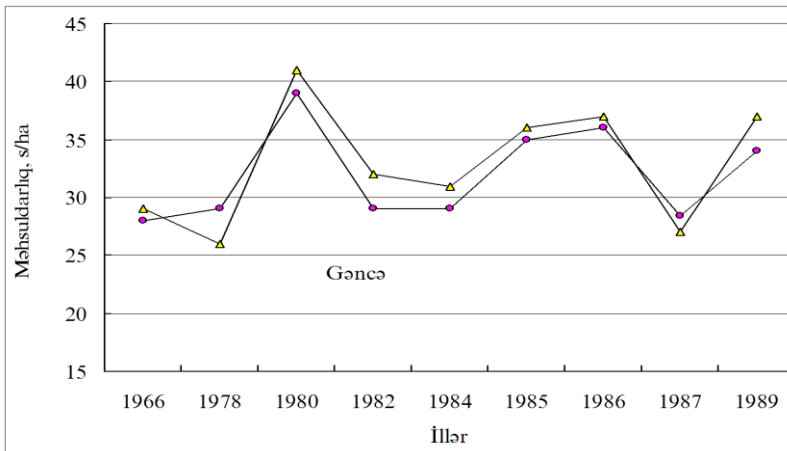
Şəkil 7.10. Semikarakorskda payızlıq buğdanın əkin sahəsində torpağın 0-20, 0-50 və 0-100 sm qatlarında rütubət ehtiyatlarının (a), atmosfer yağıntılarının (b) və cəmi buxarlanmanın (c) sutkalıq gedişi (qara nöqtələrlə rütubət ehtiyatlarının faktiki qiymətləri göstərilmişdir)



Şəkil 7.11. Göyçay stansiyasında 1984-ci ildə torpağın 0-100 sm qatında rütubət ehtiyatlarının (a), atmosfer yağıntılarının (b) və cəmi buxarlanmanın (c) sutkalıq gedişi



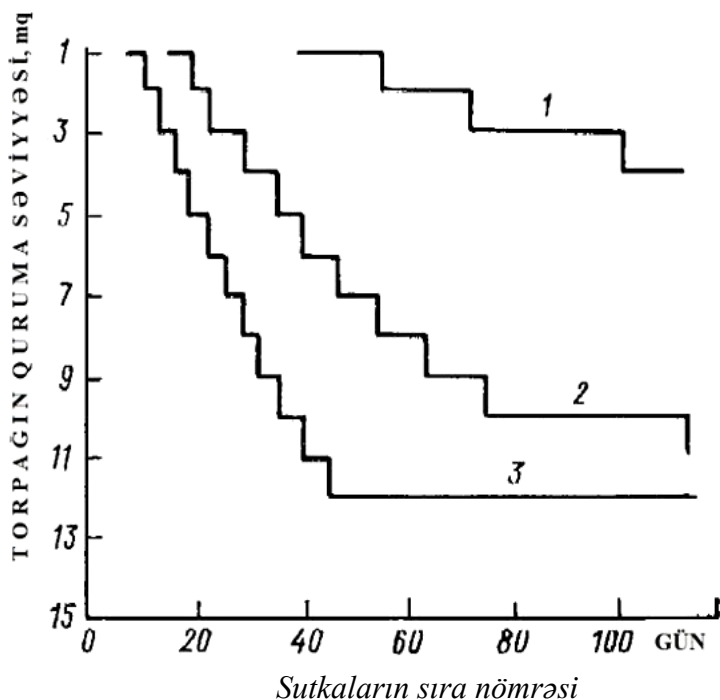
Şəkil 7.12. Göyçay stansiyasında payızlıq buğdanın məhsuldarlığının hesablanmış (●) və faktiki (◆) qiymətlərinin illər üzrə dinamikası



Şəkil 7.13. Gəncə stansiyasında payızlıq arpanın məhsuldarlığının hesablanmış (●) və faktiki (◆) qiymətlərinin illər üzrə dinamikası

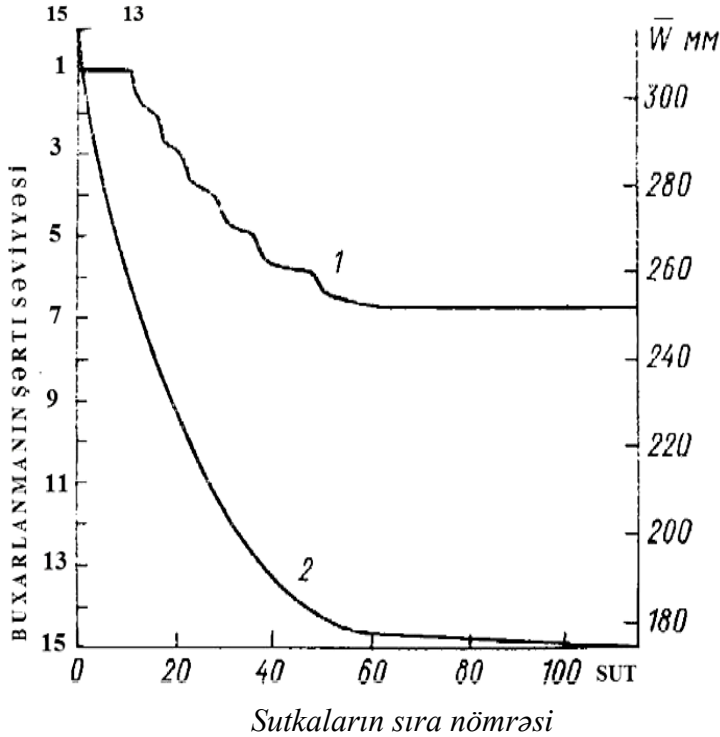
Şəkil 7.14-dəki qrafikdən görüldüyü kimi, 1-ci variantda torpağın yuxarı qatının (1-ci qatı) quruması hesablamının 39-cu günündən başlayır və hesablamının sonuna yerini 3-cü qata də-

yişir. 2-ci variantda torpağın quruması yerini 10-cu qata dəyişmişdir və buxarlanma 11-ci qatdan gedir. Burada buxarlanmaya sərf olunan rütübətlik aşağı qatlardan bu qata daşınan rütübət hesabına təmin olunur. Oxşar hal 3-cü variant üçün də xarakterikdir.



Şəkil 7.14. Torpağın $W^{m.h.}$ səviyyəsinə qədər qurumasının dinamikası. 1) $E_{sut} = 3\text{ mm}$; 2) $E_{sut} = 6\text{ mm}$; 3) $E_{sut} = 9\text{ mm}$

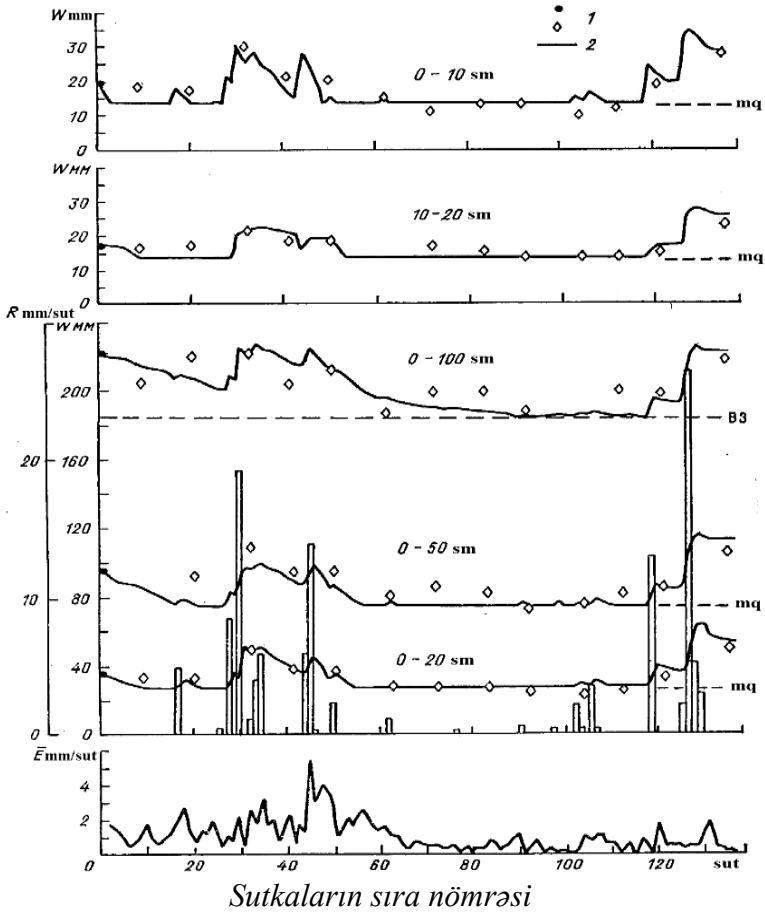
İkinci model nümunəsində buxarlanma zonasının torpağın dərinliyinə yerini dəyişməsi tədqiq olunmuşdur. Torpaq rütübətlinin qiymətləri bütün torpaq qatları üzrə $W^{ə.k.s.İ.}$, buxarlanmanın intensivliyi isə sabit və 0.5 mm/saata bərabər götürülmüşdür. Alınan nəticələr şəkil 7.15-də verilmişdir.



Şəkil 7.15. Şərti buxarlanma səviyyəsinin (1) və 0-150 sm torpaq qatında cəmi rütubət ehtiyatlarının \bar{W} (2) sutkalıq dinamikası

Şəkil 7.15-dən görüldüyü kimi, ilk 12 sutka ərzində buxarlanma 0-10 sm-lik qatdan gedir, sonra isə iki qonşu qatların rütubəti buxarlanmaya sərf olunmağa başlayır. Bu hesablama eksperimentində buxarlanma kvazistasionar rejimə çıxmışdır, yəni buxarlanan suyun miqdarı 15-ci torpaq qatından yuxarıya hərəkət edən suyun miqdarı ilə bərabərləşmişdir.

Reallıqda torpağın üst qatlarının qurumasını şəkil 7.16-da verilmiş nümunə ilə təsdiqləmək olar.



Şəkil 7.16. Torpağın 0-10, 10-20, 0-10, 0-50 və 0-20 sm-lik qatlarında torpaq rütubətliyinin ölçülmüş (1) və hesablanmış (2) qiymətlərinin, sutkalıq yağıntı miqdarının və buxarlanmanın dinamikası MH – maksimal hiqroskopoiklik, TSR – tam solma rütubəti

Alınan nəticələr göstərir ki, payızlıq buğdanın məhsuldarlığının vegetasiya dövrünün ayrı-ayrı hissələrinin meteoroloji şəraitinə reaksiyası ildən ilə kəskin fərqlənir.

2) *Dənli bitkilərin məhsuldarlığının proqnozlaşdırılması imkanlarının tədqiqi*. Hesablamalarda Mərzə stansiyasının faktiki məlumatlarından istifadə olunmuşdur. Proqnozun verilməsində gələcək meteoroloji şəraitin verilməsi üçün il-analoq kimi 1987 –ci il (məhsuldarlıq ən az olmuşdur- 9.4 s/ha), 1976-ci il ((məhsuldarlıq ən yüksək olmuşdur – 45.3 s/ha) və 1980-ci il (məhsuldarlıq orta səviyyədə olmuşdur – 26.5 s/ha) seçilmişdir. Proqnozlaşdırılan illər kimi 1975 (məhsuldarlıq 13.3 s/ha), 1973 (məhsuldarlıq 39.1 s/ha), 1982 –ci (məhsuldarlıq 21.5 s/ha) illər seçilmişdir. Beləliklə, hesablamalar məhsuldarlığa nisbətən ekstremal və orta məhsuldarlıqlı illəri əhatə etmişdir. Proqnozlar taxılın göyərməsi tarixinə, yazda vegetasiya dövrünün bərpa tarixinə, vegetasiya dövrünün bərpa +1 ay tarixinə, çiçəkləmə tarixinə və çiçəkləmə tarixi + 1ay tarixinə tərtib olunmuşdur. Beləliklə, 45 proqnoz variantına baxılmışdır.

Hesablamalarda proqnozun tərtib olunmasının yuxarıda göstərilən tarixlərinə qədər faktiki meteoroloji şərait, bu tarixlərdən sonra isə gələcək meteoroloji şəraitin seçilmiş il-analoqlarındakı qiymətləri verilmişdir. Hesablamaların nəticələri cədvəl 7.2-də verilmişdir.

Buradan görünür ki, 1-ci variantda gələcək meteoroloji şərait 1987-ci ilin şəraiti kimi verilmişdir. Seçilmiş hər üç ildə taxılın göyərməsi tarixində proqnozlaşdırılan məhsuldarlıq faktiki qiymətlərdən aşağıdır. 2-ci və 3-cü variantlarda isə proqnozlaşdırılan məhsuldarlıq faktiki qiymətlərdən çoxdur. Bu qayda ilə cədvəl 7.2-nin məlumatlarını təhlil edib müvafiq nəticələr almaq olar.

3) *Aqroekosistemlərin riyazi modelləri əsasında qərarların qəbul edilməsi məsələlərinin həlli*. Dinamiki modellərin başlıca məsələsi - əkinçilikdə idarəetmənin praktiki məsələlərinin optimal həlli üçün əsas rol oynayan informasiyanın hazırlanmasıdır. Modellərdən istifadə etməklə qərarların dəstəklən-

məsi üç sinifə bölünən məsələlərə tətbiqi ilə həyata keçirilə bilər:

Cədvəl 7.2

Payızlıq buğdanın məhsuldarlığının 3 il üzrə proqnozlaşdırılan qiymətlərinin analoq illərdəki qiymətlərindən meyl etmələri $\Delta y = y_p - y_f$ (s/ha)

İllər	Proqnoz tarixləri				
	Cücərmə	Vegetasiyanın bərpası	Vegetasiyanın bərpası + 1 ay	Çiçəkləmə	Çiçəkləmə + 1 ay
1-ci variant, analoq-il 1987-ci il					
1975	-5.9	-7.6	-6.9	-1.9	-0.2
1982	-2.9	2.5	7.7	-1.8	-0.3
1973	-22.7	-29.1	-26.6	-5.2	-3.9
1-ci variant, analoq-il 1976-ci il					
1975	2.4	-12.4	-12.0	-2.4	-1.6
1982	6.7	2.9	5.9	-0.8	0.0
1973	5.2	-16.8	-9.1	-3.1	-2.0
1-ci variant, analoq-il 1980-ci il					
1975	4.2	-8.4	-7.6	-0.5	-0.2
1982	1.7	4.5	8.8	-0.8	-1.8
1973	3.8	-15.9	-8.3	-3.1	-1.0

-Aqroekosistemin və torpaqda rütubətin və duzların miqdarı, kök sisteminin yayılma dərinliyi, yarpaq indeksi və ya bitkinin biokütləsi kimi onun komponentlərinin mövcud meliorativ vəziyyətinin qiymətləndirilməsi.

-Aqroekosistemin davranışının, yəni, bitkilər üçün əl çatan olan rütubətliyin, bitkinin inkişaf sürətinin və gözlənilən məhsulun proqnozlaşdırılması.

-Suvarma, əlavə azot gübrələrinin verilməsi və s. kimi aqrotekniki və meliorativ tədbirlərin köməyi ilə bitkilərin məhsuldarlığının idarə edilməsi.

Birinci sinif məsələlərin problemlərini həll etmək üçün keçmiş və cari hava haqqında məlumatların olması kifayətdir. Hava proqnozlarının səmərəli üsulları olmadan isə ikinci və üçüncü sinif məsələlərini həll etmək mümkün deyil.

Yuxarıda formalaşdırılmış məsələlərin xüsusiyyəti kənd təsərrüfatı istehsalının fəslə dövrünlüyü ilə əlaqəlidir. Buna görə də qərarların qəbul edilməsinin üç vaxt intervalını seçmək olar: -məsələnin çoxillik perspektiv həlləri; -cari vegetasiya dövrünə texnoloji hazırlıq, yəni, qarşıdan gələn fəsil üçün qəbul edilən qərarlar; -operativ qərarlar.

Praktikada operativ idarəetmə rejimində dinamik modelərdən istifadə olunur.

Aqroekosistemlərin əsas hissələrindən olan meliorativ hidrologiyada geniş tətbiq olunan modellərə aid etmək olar:

- cəmi buxarlanma, torpağın rütubət ehtiyatları və aerasiya zonasında rütubət mübadiləsi;

- səth axını; - drenaj və kollektor axını;

- suyun torpağa infiltrasiyası və qrunt sularının infiltrasiya qidalanması;

- torpaqda rütubətin artıqlığı və kənd təsərrüfatı bitkilərinin sudan istifadə çatışmazlığı;

- duz və gübrələrin torpaqdan çıxarılması modelləri.

Burada qeyd etmək olar ki, bu fəsildə təqdim olunmuş dinamik modelə bəzi proseslərin (məsələn, duzların və mineral gübrələrin torpaqda hərəkəti) submodellərini əlavə etməklə meliorativ hidrologiyada da uğurla istifadə etmək olar.

VIII FƏSİL. SƏNAYE MÜƏSSİSƏLƏRİNİN TULLANTILARININ SƏPƏLƏNMƏSİ ŞƏRAİTİNİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

8.1. Modelləşdirmənin metodiki əsası

Atmosferin və səth örtüyünün passiv və aktiv çirkləndirici maddə qarışıqları ilə çirklənməsinin qiymətləndirilməsi xüsusi tərtibli aerodinamika tənlikləri və həm də onların sonlu-fərq approksimasiyalarına əsaslanmış riyazi modellər vasitəsilə həyata keçirilir. Rusiyada bu istiqamətdə tədqiqatlara akademik G.İ. Marçukun məktəbi böyük töhvə vermişdir. Belə növlü modellər Avropa və ABŞ-da əhali və ya yerli hakimiyyətin sənaye müəssisələrinə qarşı, onlar tərəfindən müəyyən ekoloji ziyanların vurulması ilə əlaqədar olaraq qaldırılan məhkəmə iddialarının həll edilməsində geniş istifadə olunur. Belə hallarda riyazi modellərdən istifadə etməklə vurulmuş ziyanın qiymətləndirilməsi üçün ekspertiza həyata keçirilir, bunun nəticəsində cərimənin cəmi kəmiyyətcə qiymətləndirilir və müvafiq məbləğ mühiti çirkləndirən müəssisə tərəfindən dövlət və yerli orqanlara ödənməlidir. Belə tədbirlər çox əhəmiyyətli olmuş və nəticədə bir çox inkişaf etmiş ölkələrin demək olar ki, hər yerində müvafiq təmizləyici qurğuların tətbiqinə gətirib çıxarmışdır.

Riyazi ekologiyanın vacib praktiki məsələlərindən birinə artıq fəaliyyətdə olan müəssisələrdən atmosfərə atılmış çirkləndiricilərin məkan-zaman yayılmasının hesablanması və sanitar normaları gözləməklə sənaye müəssisələrinin mümkün yerləşməsinin planlaşdırılması təşkil edir.

Sənaye müəssisələrinin tullantılarının səpələnməsi şəraitinin riyazi modelləşdirilməsinin əsasını «*Müəssisələrin tullantılarında olan zərərli maddələrin atmosfer havasında konsentrasiyasının hesablanması metodikası – OHİ-86*» təşkil edir. Bu zaman belə bir şərt qoyulur ki, hər bir zərərli maddənin cəmi konsentrasiyası həmin maddənin atmosfer havasında birdəfəlik

maksimal yol verilə bilən konsentrasiyasından çox ola bilməz ($YVBK_{max}$).

Müəssisələrin borularından və ventilyasiya qurğularından atılmış sənaye tullantılarının atmosferdə yayılması turbulent diffuziya qanunlarına tabedir. Sənaye tullantılarının atmosferdə səpələnməsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərən amillərə atmosferin vəziyyətini, müəssisələrin yerləşməsinə və tullantı mənbələrini, yerli ərazinin xüsusiyyətlərini, atılmış maddələrin kimyəvi xassələrini, tullantı mənbəsinin hündürlüyünü, borunun diametrini və s. aid etmək olar. Atılmış maddələrin üfüqi yerdəyişməsi əsasən küləyin sürəti və istiqaməti ilə, şaquli yerdəyişməsi isə atmosferdə temperaturun hündürlüyə görə paylanması ilə təyin edilir.

Sənaye tullantılarının yayılması prosesi havanın turbulent pulsasiyaları ilə şərtləndirilən hava kütlələri ilə daşınma və diffuziya hesabına baş verir. Əgər, zavod borusunun üstü məşəli üzərində müşahidə aparılsa, onda görmək olar ki, onun hava axınlarının təsiri ilə böyüməsi və mənbədən uzaqlaşdıqca kiçik miqyaslı turbuləntlik hesabına tədricən “şişməsi” baş verir. Məşəl hava kütlələrinin hərəkəti istiqamətinə dartılmış konus formasına malik olur. Sonra məşəl ayrı-ayrı burulğan formalı hissələrə parçalanmaqla mənbədən böyük məsafələrə aparılır.

8.2. Zərərli maddələrin atmosferdə səpələnməsinə təsir edən amillər

Belə amillərin ən əsaslarına atmosfer sirkulyasiyası, güclü və zəif küləklər, inversiya hadisələri, anomal mənfi hava şəraitləri kimi meteoroloji amilləri və atmosferin özünü təmizləməsinə aid etmək olar.

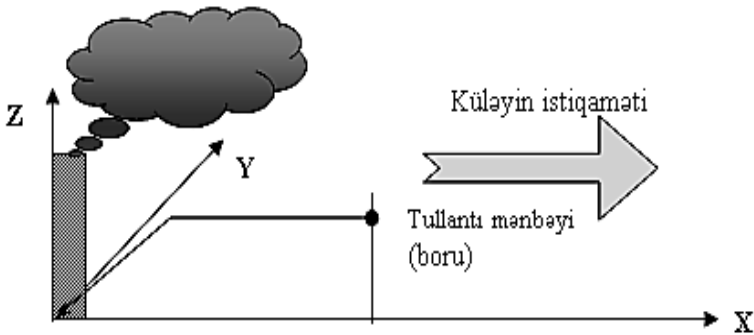
Atmosfer sirkulyasiyasının xüsusiyyətləri aşağıda sadalanan dəyişikliklərə məruz qalaraq atmosfərə daxil olan çirkləndiricilər: 1) atmosfer axınlarının (hərəkətinin) köçürülməsi; 2) bulud və dumanın yaxalama damlları; 3) radioaktiv

tənəzzül və digər çirkələrəndiricilərin və atmosfer ilə kimyəvi reaksiyalara girməsini təmin edir.

Müxtəlif mənbələr tərəfindən atılan zərərli qarışıqların səpələnməsi və daşınması turbulentliyin təsiri altında da baş verir. Havanın qeyri-hamar səth üzərində hərəkəti zamanı sür-tünmə hesabına müxtəlif ölçülü burulğanlar əmələ gəlir. Bu-rulğan hərəkəti nəticəsində aşağıdakı hissəciklər yuxarı qalxır, yuxarıdakılar isə aşağı enir, bundan başqa onlar həm də hava axını ilə üfüqi istiqamətdə aparılırlar. Turbulentlik hesabına ha-vanın müxtəlif təbəqələri bütün istiqamətlərdə intensiv olaraq qarışırlar.

Güclü və zəif küləklərin təsiri. Atmosfer havasının yer-üstü təbəqəsində qarışıqların səpələnməsi və daşınması səviy-yəsinə təsir göstərən əsas meteoroloji amillər baxılan ərazilərdə əsən küləyin istiqaməti və sürətidir. Məsələn, Bakının külək re-jimi şimal istiqamətli güclü küləklərin üstünlüyü ilə səciyyələ-nir. Bu, zərərli qarışıqların səpələnməsinə əlverişli şərait yaradır və atmosfer havasının ümumi çirklənməsini azaldır.

Atmosfer havasının çirklənməsində küləyin istiqaməti də əhəmiyyətli rol oynayır (şəkil 8.1). Məsələn, müxtəlif ərazilər üzərində 0-3 km–lik atmosfer qatında yaranan inversiyalar bü-tün müxtəlif istiqamətli küləklər hesabına formalaşır.



Şəkil 8.1. Küləyin istiqamətinin zərərli tullantıların yayılmasına təsiri

İnversiya hadisələrinin təsiri. Atmosferdə müşahidə olunan temperatur inversiyaları havanın yüksək çirklənmə dərəcəsinə gətirib çıxaran ən vacib meteoroloji hadisələrdəndir. Şəhər havasında çirklənmə səviyyəsi çox dəyişkəndir və zərərli maddələrin nisbətən daimi tullantıları zamanı geniş hədd səviyyəsində tərəddüd edə bilir ki, bu da xeyli dərəcədə meteoroloji şəraitlərlə şərtlənir.

Temperaturun yüksəklik boyu artması prosesinə ***inversiya*** deyilir və onun müşahidə olunduğu hava qatına çox vaxt konveksiyanı və turbulentiyyəni dayandıran qat da deyilir. Adətən bu qatın altında bulud, duman və görünüşü pisləşdirən toz yığını müşahidə edilir. İnversiya qatında küləyin yox olması və ya onun parametrlərinin kəskin dəyişməsi müşahidə olunur. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, havanın nisbətən güclü çirklənməsində yerüstü inversiyaların rolu mövcuddur. Moskva şəhəri üçün isə müəyyən olunmuşdur ki, qış fəslində ən çox müşahidə olunan yerətrafi təbəqədəki inversiyadır və bu təbəqənin hündürlüyü azaldıqda atmosferin çirklənmə dərəcəsi artır. Dünyada atmosfer havası ən çirkli olan şəhərlərdən biri Türkiyənin paytaxtı Ankara şəhəri olmuşdur. Bunun əsas səbəblərindən biri dağ yamaclarından soyuq havanın aşağıya axması vaxtı əmələ gələn inversiyanın tez-tez təkrarlanması olmuşdur.

Abşeron yarımadasında atmosfer havasının inversiya hadisələrindən asılı olaraq çirklənmə dərəcəsinin tədqiqi göstərmişdir ki, ilin qış-yaz fəsillərində zərərli qarışıqların maksimum konsentrasiyası atmosferdə qarışma təbəqəsinin qalınlığının nisbətən az olması ilə və qışda yer ətrafında bir qədər yuxarıda əmələ gələn inversiyalarla, yaz fəslində isə yer səthi üzərindəki inversiyalarla əlaqəlidir.

Digər meteoroloji elementlərin zərərli maddələrin tullantılarının səpələnməsinə təsiri. Təbii mühitdə davamlı temperatur dəyişmələri baş verir. Buna görə də, enerji və çirklənmənin yayılması daim dəyişən mühitdə baş verir. Yağış və yüksək temperatur zərərli maddələrin parçalanma intensivliyinə

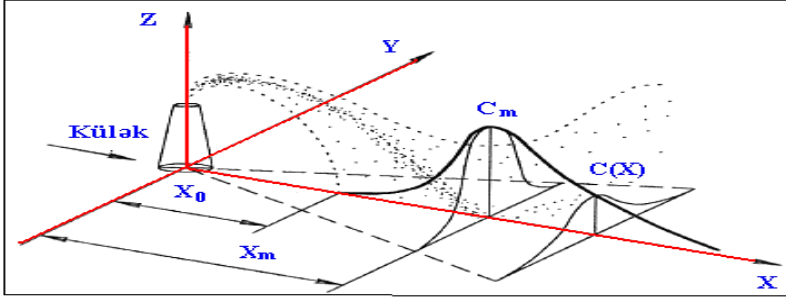
kömək edir. Gün ərzində yerə yaxın hava təbəqəsində yüksək temperatur əlavə şaquli hərəkətlər yaradaraq havanın yuxarı qalxmasına səbəb olur. Gecə yer səviyyəsində temperatur aşağı olur, buna görə də şaquli hərəkətlər zəifləyir. Bu fenomen işlənmiş qaz dispersiyasının azalmasına gətirib çıxarır.

Yağıntılar atmosferdən çirkli maddələri yuyub aparır. Şəhərdə hava çirkliliyinin əvvəlki səviyyəsinə qayıtması təxminən 12 saat ərzində baş verir. Hava dərhal yağışdan sonra təmiz olur.

Dumanlarda hava çirkliliyi artır. Burada çirkəndirici maddələr damcılarla sorulur. Lakin, damcı ilə yanaşı, yer səthində də qalır. Böyük konsentrasiyalı dəyişikliyi yaradaraq, çirkəndiricilərin mühtdən çıxarılması baş verir. Bu baxımdan, onların ümumi konsentrasiyası artır.

Atmosferin özünü təmizləməsi. Atmosferə atılan zərərli maddələrin konsentrasiyasının azaldılması yalnız qatılma hava emissiyalarının nəticəsi deyil, həm də atmosferin tədricən öz-özünü təmizləməsi üçündür. Özünü təmizləmə fenomeni aşağıdakı əsas proseslər ilə müşayiət olunur: • çökmə; • açıq atmosferdə günəş radiasiyasının təsiri altında qaz emissiyalarının zərərsizləşdirilməsi.

Sənaye mənşəli zərərli maddələrin tullantılarının atmosferdə səpələnməsinin sxematik təsviri. Məlumdur ki, sənaye obyektlərində borulardan və ventilyasiya qurğularından tullantıların atmosferdə yayılması turbulent diffuziya qanunlarına tabe olur. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, tullantıların səpələnməsi prosesinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərən amillərə atmosferin vəziyyəti, müəssisələrin və tullantı mənbələrinin yerləşməsi, ərazinin xarakteri, atılan maddələrin kimyəvi xassələri, tullantı mənbəsinin hündürlüyü, boruların diametri və s aiddir. Tullantı maddələrin üfqi yerdəyişməsi əsasən küləyin sürəti və istiqaməti ilə, şaquli yerdəyişməsi isə - temperaturun atmosferdə hündürlüyə görə paylanması ilə təyin olunur (şəkil 8.2).



Şəkil 8.2. Zərərli maddələrin konsentrasiyasının yerətrafi təbəqədə paylanması sxemi (X_1, \dots, X_n – tullantı məşəlinin uzunluğu boyu çirklənmə mənbəsindən olan məsafə)

Sənaye müəssisələrinin tullantılarının səpələnməsi şəraitinin qiymətləndirilməsi vaxtı belə bir şərt qəbul olunur ki, hər bir zərərli maddənin cəmi konsentrasiyası bu maddənin atmosfer havasındakı maksimal birdəfəlik mümkün konsentrasiyasından çox olmamalıdır. Yəni, i -saylı zərərli maddənin yerətrafi hava təbəqəsində maksimal konsentrasiyası ($C_{m,i}$) hesablanır və sonra həmin maddə üçün qəbul olunmuş maksimal yol verilə bilən konsentrasiya (MYVK) ilə müqayisə olunur. $C_{m,i} \leq \text{MYVK}$ halında atmosferin çirklənməsinin normadan artıq olmadığı qəbul edilir.

Hesablamaların aparılması vaxtı aşağıdakı kəmiyyətlər təyin olunur: -ən əlverişsiz meteoroloji şəraitdə müşahidə oluna bilinən çirkləndirici maddənin maksimal konsentrasiyası (C_m); -ən əlverişsiz meteoroloji şəraitdə müşahidə oluna bilinən çirkləndirici maddənin maksimal konsentrasiyasının tullantı mənbəyindən ola biləcəyi məsafə (X_m).

8.3. Zərərli maddələrin konsentrasiyasının və yayılma məsafəsinin hesablanması riyazi modelləri

Yer səthi üzərində qızmar və soyuq qaz-hava qarışığının maksimal konsentrasiyasının hesablanması modeli. İstifadə olunan metodika əsasında çirkləndirici maddələrin atmosferdə

səpələnməsinin hesablanması yerətrafi hava təbəqəsində onların konsentrasiyasının (C , mq/m^3) təyin olunmasından ibarətdir. Bu prosesin riyazi modeli işlənildikən qızmar və soyuq qaz-hava qarışıqlarının hər biri üçün yer səthi üzərində zərərli maddələrin maksimal konsentrasiyası (C_m) hallarına baxılır. C_m tullantı mənbəsindən X_{\max} məsafəsində yerləşən tullantı məşəlinin oxu üzərində yaranır.

Qızmar qaz-hava qarışığı üçün C_m -i belə hesablamaq olar:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot v}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}. \quad (8.1)$$

Soyuq qaz-hava qarışığı üçün C_m -i belə hesablamaq olar:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot n \cdot v \cdot k}{H^{4/3}}, \quad (8.2)$$

burada A – atmosferin stratifikasiya əmsəlidir, temperatur qradientindən asılıdır və tullantıların üfqi və şaquli səpələnməsi şəraitini təyin edir (məsələn, zərərli tullantıların konsentrasiyasının atmosfer havasında maksimal ola biləcəyi ən əlverişsiz meteoroloji şəraitə müvafiq olan A əmsallarının qiymətləri aşağıdakı kimi götürülür: a) 120 – 40⁰ şm. enlikdən cənubdakı Orta Asiya rayonları üçün; b) 200 – Sibir və 50⁰ şm. enlikdən cənubdakı rayonlar üçün; c) 140 – Moskva və Moskva vilayəti üçün); M – vahid zaman ərzində atmosfərə atılan maddənin kütləsi, q/san; F – atmosferdəki tullantıların asılı hissəciklərinin çökmə sürətini nəzərə alan əmsal (zərərli və kiçik dispersli aerozollar üçün 1-ə, qaztəmizləyici qurğuların səmərəliliyi $\eta \geq 90\%$ -dan çox olan vaxtı toz üçün 2-yə, $\eta = 75\% \dots 90\%$ hal üçün 2,5-ə, səmərəliliyi $\eta < 75\%$ -dən az olan hal üçün 3-ə bərabərdir); η – qaztəmizləyici qurğunun effektivlik əmsalı; m – qazların borudan çıxması şəraitini nəzərə alan ölçüsüz əmsal; n – V_m (m/san) parametrindən asılı olan ölçüsüz əmsal; v – ərazinin

relyefini nəzərə alan ölçüsüz əmsal; k - əmsal; H – borunun hündürlüyü, m; V_1 - atılan qaz-hava qarışığının həcmi, m³/san; ΔT - atılan qaz-hava qarışığının temperaturu ilə ətraf atmosfer havasının temperaturu arasındakı fərkdir və ən isti ayın saat 13⁰⁰ üçün orta temperaturuna bərabərdir.

Qazların borudan çıxması şəraitini nəzərə alan ölçüsüz əmsal m aşağıdakı kimi hesablanır:

$$m = \begin{cases} \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}, & f < 100 \text{ olduqda} \\ \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, & f \geq 100 \text{ olduqda} \end{cases} \quad (8.3)$$

$$f = 10^3 \cdot W_0^2 \cdot \frac{D}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (8.4)$$

burada D – tullantı mənbəsinin (borunun) diametri, m; W_0 – qaz-hava qarışığının mənbənin yuxarı ağzından çıxmasının orta sürəti, m/san.

n belə hesablanır:

$$n = \begin{cases} 3, & V_m \leq 0,3 \text{ olduqda} \\ 3 - \sqrt{(V_m - 0,3) \cdot (4,36 - V_m)}, & 0,3 < V_m < 2 \text{ olduqda} \\ 1, & V_m > 2 \text{ olduqda} \end{cases} \quad (8.5)$$

1) qızmar qaz-hava qarışığı üçün V_m -in hesablanması düsturu:

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}. \quad (8.6)$$

2) soyuq qaz-hava qarışığı üçün V_m -in hesablanması düsturu:

$$V_m = 1,3 \cdot \frac{W_0 \cdot D}{H} \quad (8.7)$$

(8.1) düsturuna daxil olan V_1 aşağıdakı kimi hesablanır:

$$V_1 = \frac{3.14 \times D^2}{4} \times W_0 \quad (8.8)$$

(8.2) düsturuna daxil olan k aşağıdakı kimi hesablanır:

$$k = \frac{S_1}{8 \cdot V_1} \quad (8.9)$$

Yer səthi üzərində tullantı qarışıqların konsentrasiyasının maksimal ola biləcəyi məsafənin (X_m) modeli. X_{\max} belə təyin olunur:

-qaz və xırda dispersli tozlar üçün:

$$X_{\max} = d \cdot H, \quad (8.10)$$

-iri dispersli tozlar üçün ($F \geq 2$):

$$X_{\max} = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H. \quad (8.11)$$

burada d - V_m parametridən asılı olan ölçüsüz kəmiyyət;

-qızmar qaz-hava qarışığı üçün d belə hesablanır:

$$d = \begin{cases} 4,95 \cdot V_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), & V_m \leq 2 \text{ olduqda} \\ 7,00 \cdot \sqrt{V_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), & V_m > 2 \text{ olduqda} \end{cases}; \quad (8.12)$$

-soyuq tullantı üçün d belə hesablanır:

$$d = \begin{cases} 11,4 \cdot V_m, & V_m \leq 2 \text{ olduqda} \\ 16,1 \cdot \sqrt{V_m}, & V_m > 2 \text{ olduqda} \end{cases}; \quad (8.13)$$

Yerətrafi atmosfer təbəqəsində tullantı mənbəsindən maksimal yayılma məsafəsindən fərqlənən istənilən məsafədə çirkləndiricinin konsentrasiyasının modeli. Yerətrafi atmosfer təbəqəsində tullantı mənbəsindən X_{\max} –dan fərqlənən istənilən X məsafəsində çirkləndiricinin konsentrasiyası (C_x) belə hesablanır:

$$C_x = C_m \cdot S_1, \quad (8.14)$$

burada $S_1 - X/X_{\max}$ nisbətindən asılı olan əmsal.

S_1 əmsalı belə hesablanır ($Y = X/X_{\max}$ qəbul edək):

$$S_1 = \begin{cases} 3 \cdot Y^4 - 8 \cdot Y^3 + 6 \cdot Y^2, & (X/X_{\max}) \leq 1 \quad \text{olduqda} \\ \frac{1.13}{0.13 \cdot Y^2 + 1} & 1 \leq (X/X_{\max}) \leq 8 \quad \text{olduqda} \\ \frac{3.58 \cdot Y^2 - 35.2 \cdot Y + 120}{1} & F = 1; (X/X_{\max}) > 8 \quad \text{olduqda} \\ \frac{0.1 \cdot Y^2 + 2.17 \cdot Y - 17.8}{1} & 2 \leq F \leq 3 \quad \text{olduqda} \end{cases} \quad (8.15)$$

Əlverişsiz meteoroloji şəraitdə və küləyin sürətinin məşəl oxu üzərindəki küləyin sürətindən fərqli olduğu hallarda zərərli tullantıların yerətrafi maksimum konsentrasiyası (mq/m^3) belə hesablanacaq:

$$C_{m,N} = r \cdot C_m, \quad (8.16)$$

$$r = \begin{cases} 0.67 \cdot \left(\frac{v}{v_m}\right) + 1.67 \cdot \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 - 1.34 \cdot \left(\frac{v}{v_m}\right)^3, & \frac{v}{v_m} \leq 1 \text{ olduqda} \\ \frac{3 \cdot \left(\frac{v}{v_m}\right)}{2 \cdot \left(\frac{v}{v_m}\right)^2 - \left(\frac{v}{v_m}\right) + 2} & \frac{v}{v_m} > 1 \text{ olduqda} \end{cases} \quad (8.17)$$

burada v – küləyin həqiqi “orta” sürəti, m/san; v_m – tullantı mənbəsinin ağız hissəsində küləyin təhlükəli sürətidir, m/san.

8.4. Model vasitəsilə hesablama eksperimentləri

Bir sıra tədqiqatlarda sənaye müəssisələrinin zərərli maddələrinin tullantılarının atmosferdə səpələnməsinin hesablama eksperimenti vasitəsilə qiymətləndirilməsi həyata keçirilir. Bu vaxt hesablamalarda istifadə olunan parametrlərin ən çox rast

gəlinən qiymətləri verilir. Burada nümunə kimi hesablama eksperimentlərinin 5 variantına baxılıb.

1-ci hesablama eksperimenti. Hesablamalar qızmar-qaz-hava qarışığı üçün aparılır. Tutaq ki, atmosferi çirkləndirən müəssisə şəhərin şimal-qərb hissəsində yerləşib. Atmosferi çirkləndirən mənbənin, yəni, diametri $D=2.2$ m olan borunun hündürlüyü $H=42$ m-dir. Bu borudan atmosfərə sürəti $W_0=7$ m/san. ilə qızmar qaz-hava qarışığı atılır. Onun tərkibində yol verilən həddi 0.03 mq/m³ olan akrolein aşkar edilib. Vahid zamanda (bir saniyədə) atmosfərə $M=13.3$ q akrolein atılır. Şəhərdə ilin ən qızmar ayının (iyulun) orta temperaturu 24.7°C təşkil edir. Atılan hava-qaz qarışığının temperaturu 110°C -dir. Deməli, bu maddə ilə ətraf havanın temperaturları arasındakı fərq bərabərdir: $dT = 110 - 24.7 = 85.3^{\circ}\text{C}$. Ərazinin relyefini nəzərə alan ölçüsüz əmsal $\nu=1$. $A=120$. $F=1$.

Aşağıdakı parametrləri təyin etmək tələb olunur:

- müəssisədən atılan tullantılar nəticəsində atmosfer havasında akroleinin maksimal mümkün konsentrasiyasını;
- bu konsentrasiyanın yarana biləcəyi meteoroloji şəraiti;
- bu maddənin maksimal konsentrasiyasının müəssisədən hansı məsafədə müşahidə olunacağını.

Hesablama aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilə bilər.

(8.8) düsturuna görə qızmar qaz-hava qarışığının sərfi bərabərdir:

$$V_1 = \frac{3,14 \cdot D^2}{4} \cdot W_0 = \frac{3,14 \cdot 2.2^2}{4} \cdot 7 = 26,598(m^3 / san.)$$

Akroleinin maksimal konsentrasiyasını təyin etmək üçün lazım olan parametrləri hesablayaq:

(8.4) düsturundan

$$f = 10^3 \cdot W_0^2 \cdot \frac{D}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot 7^2 \cdot \frac{2.2}{42^2 \cdot 85.3} = 0.716;$$

(8.6) düsturundan

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{26.598 \cdot 85,3}{42}} = 2,457.$$

$f < 100$ olduğu üçün m əmsalını (8.3) düsturuna görə təyin edək:

$$\begin{aligned} m &= \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} = \\ &= \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,716} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,716}} = 0,944. \end{aligned}$$

(8.6) düsturundakı şərtə görə $V_m > 2$ olduğu üçün $n=1$ olacaq.

Yuxarıda hesablanmış və verilmiş bütün parametrləri əsas düsturda (8.1) yerinə qoyaraq akroleinin havadakı maksimal konsentrasiyasının qiymətini belə hesablaya bilərik:

$$\begin{aligned} C_m &= \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot v}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{120 \cdot 13,3 \cdot 1 \cdot 0,944 \cdot 1 \cdot 1}{42^2 \cdot \sqrt[3]{26.598 \cdot 85,3}} = \\ &= \frac{1506,624}{1764 \cdot 13,14} = 0,065 \text{ mq} / \text{m}^3, \end{aligned}$$

Əlverişsiz meteoroloji şərait vaxtı yuxarıda hesablanmış konsentrasiyanın çirklənmə mənbəsindən hansı məsafədə müşahidə oluna biləcəyini hesablayaq.

$V_m > 2$ və $f < 100$ olduğu üçün ölçüsüz d əmsalını (8.12) düsturuna görə təyin edək:

$$\begin{aligned} d &= 7,00 \cdot \sqrt{V_m} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) = \\ &= 7,00 \cdot \sqrt{2,457} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,716}) = 13,722. \end{aligned}$$

Maksimal konsentrasiyanın müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafə (8.11) düsturu ilə belə hesablanacaq:

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5-1}{4} \cdot 13,722 \cdot 42 = 576,3 \text{ (m)}.$$

Akroleinin maksimal konsentrasiyası (13.3 mq/m^3) ancaq küləyin müəyyən sürətləri vaxtı yarana bilər və bu sürət aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_m = V_m \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) = 2.457 \cdot (1 + 0,12 \cdot \sqrt{0,716}) = 2,71 \text{ (m/san)}.$$

Havada akroleinin konsentrasiyasının çirklənmə mənbəsindən olan məsafədən asılılığı qrafikini quraq. Bunun üçün $R = \frac{X}{X_m}$

funksiyasını daxil edək, burada X – çirklənmə mənbəsindən olan məsafə, m; X_m – yuxarıda göstəriləyi kimi, maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunduğu məsafədir, (m). (8.15) düsturuna görə S_1 parametrini təyin edək, bunun üçün $X=0, 300, 600, 900, 1200$ m qiymətləri əsasında R -in müvafiq qiymətlərini hesablayaq: $R=0.00, 0.52, 1.04, 1.56, 2.08$. $R=0.00$ olduqda $S_1=0.00$.

(8.15)-dəki şərtə görə $R \leq 1$ olduqda $R_{0,52}$ üçün almaq olar:
 $S_1 = 3 \cdot R^4 - 8 \cdot R^3 + 6 \cdot R^2 = 3 \cdot 0.52^4 - 8 \cdot 0.52^3 + 6 \cdot 0.52^2 = 0.72$.

(8.15)-dəki şərtə görə $R > 1$ olduqda aşağıdakıları almaq olar:

$$R=1.04, \text{ olduqda } S_1 = \frac{1,13}{1 + R^2} = \frac{1.13}{1 + 1.04^2} = 0.54.$$

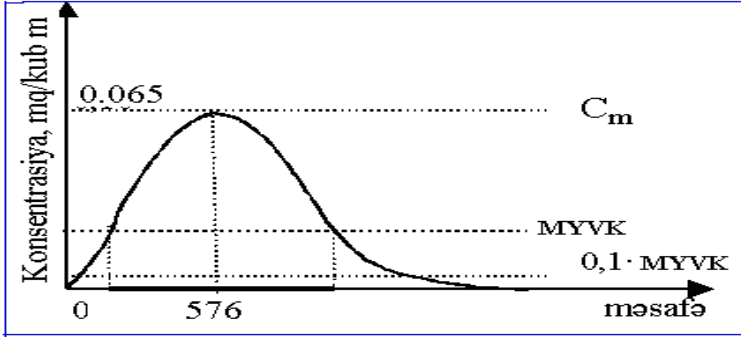
$$R=1.56, \text{ olduqda } S_1 = \frac{1,13}{1 + R^2} = \frac{1.13}{1 + 1.56^2} = 0.25.$$

$$R=2.08, \text{ olduqda } S_1 = \frac{1,13}{1 + R^2} = \frac{1.13}{1 + 2.08^2} = 0.21.$$

Növbəti mərhələdə (8.15) düsturuna görə $X=0, 300, 600, 900, 1200$ m məsafələri üçün çirkləndiricilərin konsentrasiyası hesablanır.

Bundan sonra $C(X) = f(X)$ funksiyasının qrafikini quraq, burada akrolein üçün yol verilən həddi, yəni, 0.03 mq/m^3 qeyd edək. Qrafik şəkil 8.3-də göstərilmişdir. Ona əsasən aşağıdakı nəticələri almaq olar:

1.Havada akroleinin maksimal konsentrasiyası borudan 576 m məsafədə 0.065 mq/m^3 -dur, bu isə yol verilən həddən 2 dəfədən çoxdur.



Şəkil 8.3. Akroelin maddəsinin maksimal konsentrasiyasının tullantı mənbəsindən müşahidə oluna biləcəyi məsafənin təyin edilməsi (MYVK-maksimal yol verilə bilən konsentrasiya)

2.Maksimal konsentrasiya küləyin sürətinin 3 m/san-yə yaxın olduğu halda müşahidə olunur, şəhərin meteoroloji şəraiti üçün çox xarakterikdir.

3.Müəssisənin ətraf mühitə neqativ təsirini azaltmaq üçün, tüstü borusunun hündürlüyünü artırmaq, qaz-hava qarışığının temperaturunu artırmaq, ya da akroleinin tutulması üçün filtirlərin qoyulması tövsiyə edilir.

2-ci hesablama eksperimenti. Hesablamalar yenə qızmar-qaz-hava qarışığı üçün aparılır və aşağıdakı parametrlər verilmişdir: yer səviyyəsindən yuxarıda tullantı mənbəyinin hündürlüyü, $H=80 \text{ m}$; borunun diametri, $D=6.4 \text{ m}$; tullantı səviyyəsində temperatur, $t_{bu}=100^{\circ}\text{C}$; baxılan rayonda ən isti ayda havanın orta temperaturu, $t_h=30^{\circ}\text{C}$; tullantıda zərərli maddənin konsentrasiyası, $Z=100 \text{ mq/m}^3$; tullantının həcmi, $V_1=198800 \text{ m}^3/\text{saat}$; atmosferin temperatur stratifikasiyası əmsalı, $A=160 (\text{san}^{2/3} \cdot \text{mq} \cdot \text{derece}^{1/3})/\text{il}$; $\eta=75\%$ -təmizləyici qurğunun effektivlik əmsalıdır, məşəl oxu boyu çirkləmə mənbəsindən olan

məsafələr, $X_i = (1000, 3000, 5000, 10000, 15000)$ m; küləyin sürəti, $v_i = (1, 2, 4, 6)$, m/san. Bu şərtlər çərçivəsində hesablamaların nəticələri aşağıda verilmişdir.

Hesablamaların aralıq nəticələri: $F = 2.5$; $V_1 = 333 \text{ m}^3/\text{san}$; $W_0 = 10.356 \text{ m/san}$; $M = 33.3 \text{ q/san}$.

Təyinedici parametrlər

Məşəl oxu boyunca məsafə X_m , m	Maksimal yerətrafi konsentrasiya C_m , q/m ³	Küləyin təhlükəli sürəti v_m , m/san
768.68	0.073	4.94

Məşəlin oxu boyunca tullantının maksimal yerətrafi konsentrasiyası

Küləyin verilmiş sürəti v , m/san	Məşəl oxu boyunca məsafə X_{mv} , m	Maksimal yerətrafi konsentrasiya C_{mv} , q/m ³
1	2306.6	0.014
2	1255.9	0.033
4	770.5	0.068
6	821.1	0.072

Hesablamaların nəticələrini hesabat kimi EXCEL-də cədvəl formasında belə yazmaq olar:

Hesablamanın nəticələri

Mənbədən alov oxu boyu məsafə, m	1050,972
Maksimal yol verilən konsentrasiya, mq/m ³	0,31323
Küləyin təhlükəli sürəti, m/san	2,345
Küləyin sürətindən asılı olaraq mənbədən alov oxu boyu məsafə, m	1601
	1052
	1288
	1575
Küləyin sürətindən asılı olaraq yerətrafi konsentrasiya, mq/m ³	0,152
	0,299
	0,262
	0,192
	0,154

3-cü hesablama eksperimenti. Model vasitəsilə havanın temperaturundan asılı olaraq zərərli maddələrin atmosferdə səpələnməsinin qiymətləndirilməsi aparılır. Başlanğıc məlumatlar aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

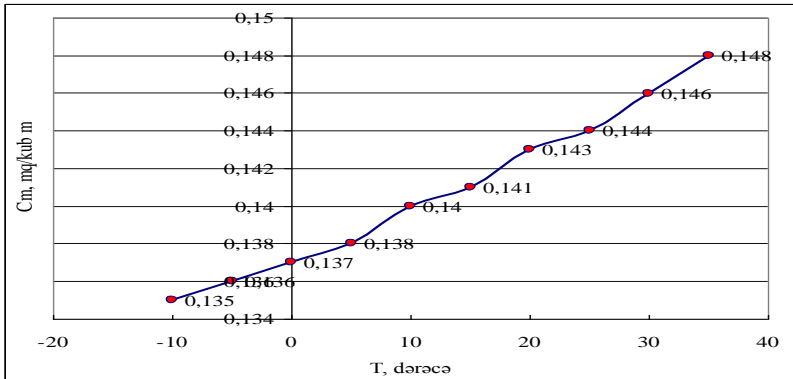
Cədvəl - Başlanğıc məlumatlar

Tullantı mənbəsinin hündürlüyü, m	120
Tullantı mənbəsinin ağızının diametri, m	3
Tullantının temperaturu, °C	160
Ən qızmar ayda havanın orta temperaturu, °C	30
Tullantı səviyyəsində zərərli tullantının konsentrasiyası, mq/m ³	5000
Tullantının həcmi, m ³ /san	40
Təmizləmənin səmərəlilik əmsalı, %	92
Məşəl oxu üzrə tullantı mənbəsindən məsafə, m	1000
	3000
	5000
	10000
	15000
Tullantıya normal olaraq tullantı mənbəsindən məsafə, m	0
	100
	200
	300
	500
Küləyin sürəti, m/san	1
	2
	4
	6

Havanın temperaturunun zərərli maddələrin atmosferdə maksimal konsentrasiyasına təsirini qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin -10⁰C-dən 35⁰C-yə qədər qiymətləri hər 5⁰C-dən bir dəyişməklə atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının qiymətləri (8.1) düsturu ilə hesablanmış, alınan nəticələr şəkil 8.4-də verilmişdir.

Şəkil 8.4-dən görüldüyü kimi, havanın temperaturu art-dıqca atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyası da artır. Məsələn, əgər bu konsentrasiya -10⁰C

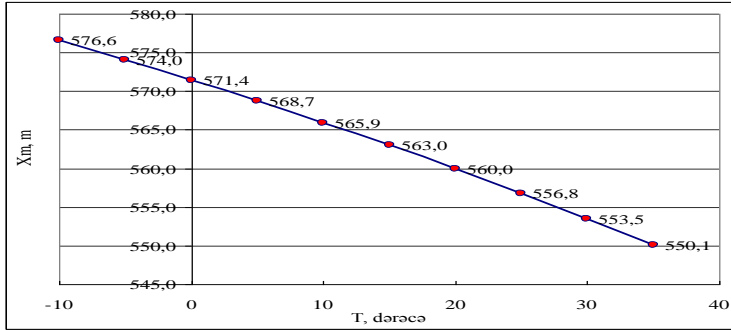
temperatur şəraitində $0,134 \text{ mq/m}^3$ -dursa, artıq bu kəmiyyət 35°C temperaturda $0,148 \text{ mq/m}^3$ olacaq. Havanın temperaturu 9 dəfə artdıqda, maksimal konsentrasiya cəmi 1.1 dəfə artacaq.



Şəkil 8.4. Havanın temperaturundan asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının dəyişməsi

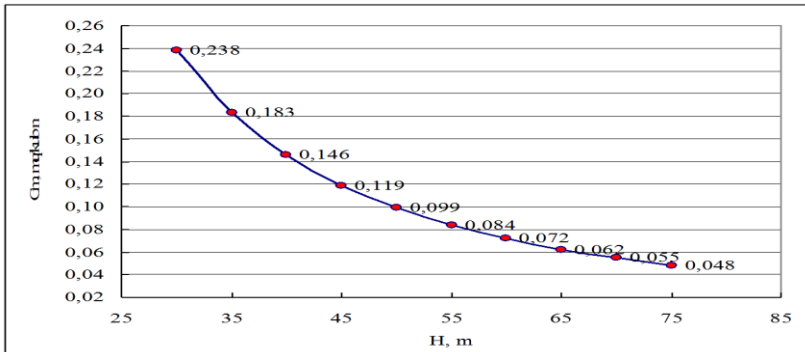
Havanın temperaturundan asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsini qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin -10°C -dən 35°C -yə qədər qiymətləri hər 5°C -dən bir dəyişməklə atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin qiymətləri (8.11) düsturu ilə hesablanmış, alınan nəticələr şəkil 8.5-də verilmişdir.

Şəkil 8.5-dən görüldüyü kimi, havanın temperaturu artdıqca atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının çirklənmə mənbəsindən müşahidə olunacağı məsafəsi azalır. Məsələn, əgər bu məsafə -10°C temperatur şəraitində 576,6 m-dirsə, artıq bu kəmiyyət 35°C temperaturda 550,1 m olacaq. Havanın temperaturu 3,5 dəfə artdıqda, müvafiq məsafə 1,05 dəfə azalacaq.



Şəkil 8.5. Havanın temperaturundan asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşa-hidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsi

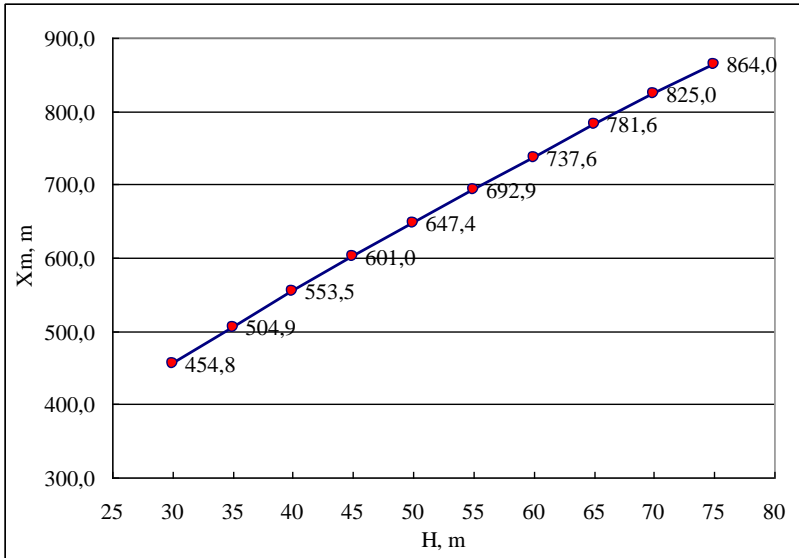
4-cü hesablama eksperimenti. Müəssisənin avadanlıqlarının parametrlərinin zərərli maddələrin atmosferdə səpələnməsinə təsirinin qiymətləndirilməsi. Zərərli maddələrin tullanma mənbəsinin (borunun) hündürlüyünün zərərli maddələrin atmosferdə maksimal konsentrasiyasına təsirini qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin 30 m-dən 75 m-ə qədər qiymətləri hər 5 m-dən bir dəyişməklə atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının qiymətləri (8.1) düsturu ilə hesablanmış, alınan nəticələr şəkil 8.6-da verilmişdir.



Şəkil 8.6. Zərərli maddə atılan borunun hündürlüyündən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının dəyişməsi

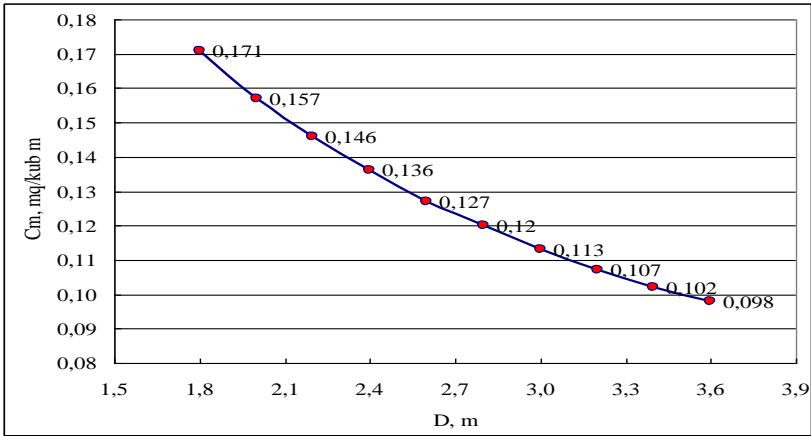
Şəkil 8.6-dan göründüyü kimi, borunun hündürlüyü art-
dıqca atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün
konsentrasiyası azalır və bu azalma qeyri-xətti xarakter daşıyır.
Məsələn, əgər bu konsentrasiya 30 m qiymətində $0,238 \text{ mq/m}^3$ -
dursa, artıq bu kəmiyyət 75 m hündürlükdə $0,048 \text{ mq/m}^3$
olacaq. Göstərmək olar ki, borunun hündürlüyü 2,5 dəfə art-
dıqda, maksimal konsentrasiya təxminən 5 dəfə azalacaq.

Zərərli maddələrin tullanma mənbəsinin (borunun) hün-
dürlüyünün zərərli maddələrin atmosferdə maksimal konsentra-
siyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan
məsafəni qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin 30 m-dən 75
m-ə qədər qiymətləri hər 5 m-dən bir dəyişməklə çirklənmə
mənbəsindən olan məsafənin qiymətləri (8.11) düsturu ilə he-
sablanmış, alınan nəticələr şəkil 8.7-də verilmişdir.



Şəkil 8.7. Zərərli maddə atılan borunun hündürlüyündən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsi

Zərərli maddələrin atılan borunun diametrindən asılı olaraq atmosfer havasında onun maksimal konsentrasiyasına təsirini qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin 1.8 m-dən 3.6 m-ə qədər qiymətləri hər 0.2 m-dən bir dəyişməklə atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının qiymətləri (8.1) düsturu ilə hesablanmış, alınan nəticələr şəkil 8.8-də verilmişdir.

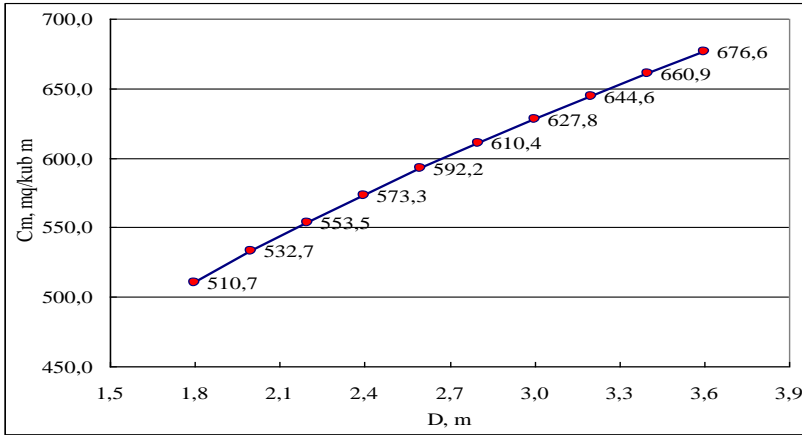


Şəkil 8.8. Zərərli maddə atılan borunun diametrindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının dəyişməsi

Şəkil 8.8-dən görüldüyü kimi, borunun diametri artdıqca atmosfer havasında onun maksimal mümkün konsentrasiyası azalır və bu azalma qeyri-xətti xarakter daşıyır. Məsələn, əgər bu konsentrasiya 1.8 m qiymətində $0,171 \text{ mq/m}^3$ -dursa, artıq bu kəmiyyət 3.6 qiymətində $0,098 \text{ mq/m}^3$ olacaq. Göstərmək olar ki, borunun diametri 2 dəfə artdıqda, maksimal konsentrasiya təxminən 1.75 dəfə azalacaq.

Zərərli maddələrin atılan borunun diametrindən asılı olaraq atmosfer havasında onun maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsini qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin 1.8 m-dən 3.6 m-ə

qədər qiymətləri hər 0.2 m-dən bir dəyişməklə atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsi qiymətləri (8.1) düsturu ilə hesablanmış, alınan nəticələr şəkil 8.9-da verilmişdir.

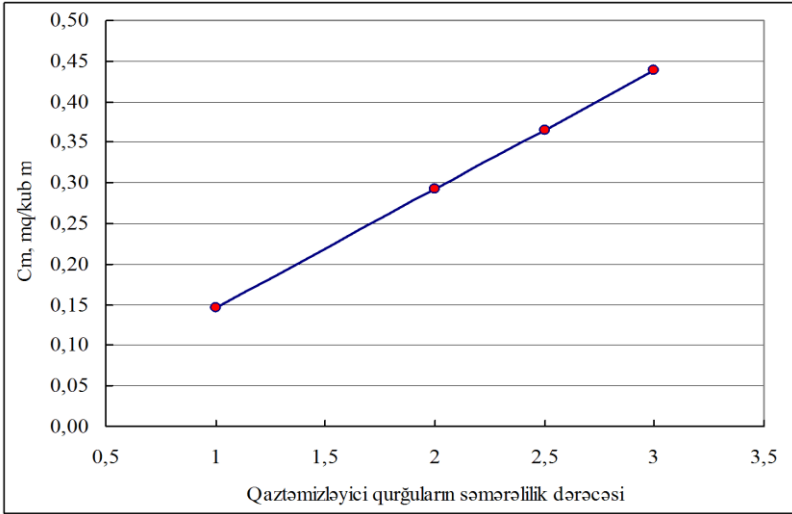


Şəkil 8.9. Zərərli maddə atılan borunun diametrindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsi

Şəkil 8.9-dan görüldüyü kimi, borunun diametri artdıqca atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafəsi artır və bu artma xətti xarakter daşıyır. Məsələn, əgər bu konsentrasiya 1.8 m qiymətində 510,7 mq/m³-dirsə, artıq bu kəmiyyət 3.6 qiymətində 676,6 mq/m³ olacaq. Göstərmək olar ki, borunun diametri 2 dəfə artdıqda, çirklənmə mənbəsindən olan məsafə təxminən 1.3 dəfə artacaq.

Atmosferdəki tullantıların asılı hissəciklərinin çökmə sürətini nəzərə alan əmsaldan (F) asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının dəyişməsinə qiymətləndirmək üçün şəkil 8.10-un aşağısında verilmiş şərtlər

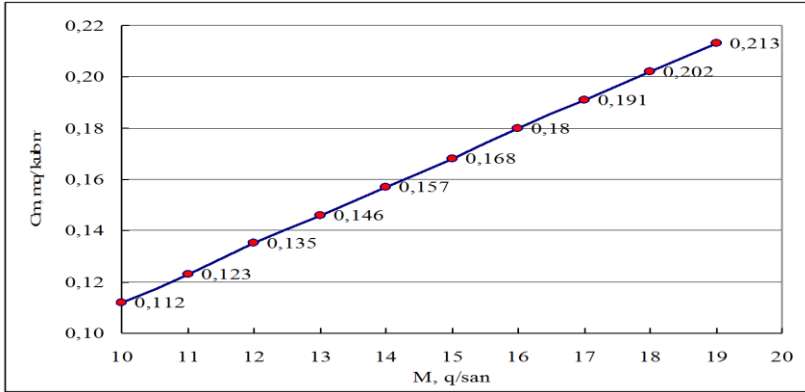
çərçivəsində çökmə əmsallarının müxtəlif qiymətlərindən istifadə edilmişdir. Alınan nəticələr həmin şəkildə öz əksini tapmışdır.



Şəkil 8.10. Atmosferdəki tullantıların asılı hissəciklərinin çökmə sürətini nəzərə alan əmsaldan (F) asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının dəyişməsi (F=1 – zərərli və kiçik dispersli aerosollar üçün; F=2 – qaz təmizləyici qurğuların səmərəliliyi 90%-dən çox olan toz üçün; F=2,5 – 75-90% hal üçün; F=3 – 75%-dən az olan hal üçün)

5-ci hesablama eksperimenti. Müəssisənin borusundan zərərli maddələrin atılma sürətindən və miqdarından asılı olaraq atılan zərərli maddələrin atmosferdə səpələnməsinin qiymətləndirilməsini nəzərdən keçirək. Vahid zamanda atmosfərə atılan maddənin konsentrasiyasından asılı olaraq atmosfer havasında mövcud olan zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının dəyişməsinə qiymətləndirmək üçün bu kəmiyyətin 10 mq/san-dən 20 mq/san-yə qədər 1 mq/san-dən bir dəyişməklə atmosfərə atılan maddənin konsentrasiyasından asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının dəyiş-

məsi qiymətləri (8.1) düsturu ilə hesablanmış və alınan nəticələr şəkil 8.11-də verilmişdir.

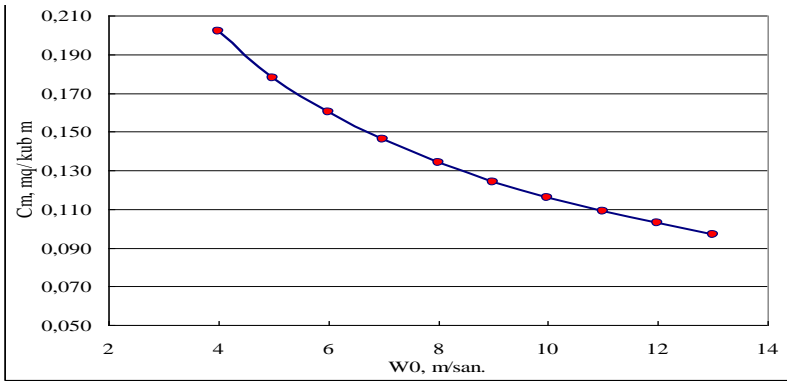


Şəkil 8.11. Vahid zamanda atmosferə atılan maddənin konsentrasiyasından asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının dəyişməsi

Şəkil 8.11-də göstərildiyi kimi, vahid zamanda atmosferə atılan maddə artdıqca atmosfer havasındakı zərərli maddənin maksimal konsentrasiyası da xətti olaraq artır. Məsələn, atmosferə atılan maddənin konsentrasiyası 10 mq/san qiymətində 0,112 mq/m³ –dirsə, 20 mq/san qiymətində 0,213 mq/m³ -dir. Göstərmək olar ki, vahid zamanda atılan maddənin konsentrasiyası 2 dəfə artdıqda, zərərli maddənin maksimal konsentrasiyası 1,9 dəfə artır.

Borudan 1 san. ərzində atmosferə atılan maddənin sürətindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının dəyişməsini qiymətləndirmək üçün 4 m/san-dən 13 m/san-yə qədər 1 m/san-dən bir dəyişməklə atmosferə atılan maddənin sürətindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının dəyişməsi qiymətləri (8.1) düsturu ilə hesablanaraq şəkil 8.12-də göstərilmişdir.

Şəkil 8.12-də göstərildiyi kimi, borudan 1 saniyə ərzində atmosferə atılan maddənin sürəti artdıqca, atmosfer havasında zərərli maddənin mümkün konsentrasiyası qeyri-xətti azalır. Məsələn, 4 m/san-də 0,2 mq/m³-dirsə, 13 m/san-də 0,1 mq/m³-dir. Göstərmək olar ki, borudan 1saniyə ərzində atılan maddənin sürəti 3.25 dəfə artdıqda, atmosfer havasındakı zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyası 5 dəfə azalır.

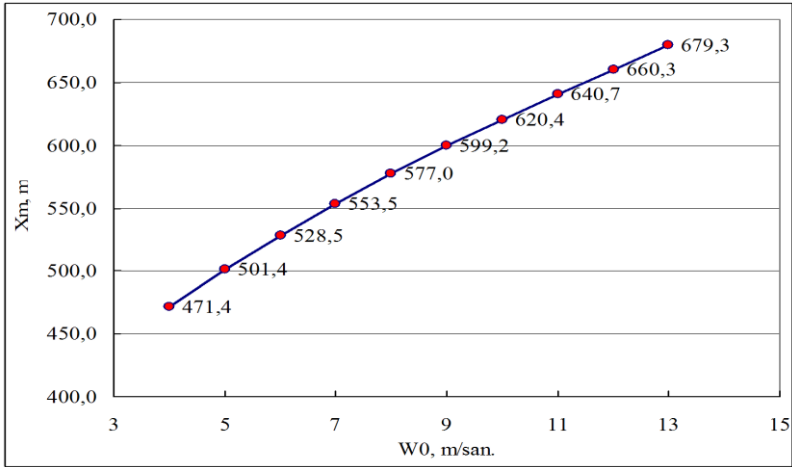


Şəkil 8.12. Borudan 1 san. ərzində atmosferə atılan maddənin sürətindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal mümkün konsentrasiyasının dəyişməsi

Borudan 1 san. ərzində atmosferə atılan maddənin sürətindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsini qiymətləndirmək üçün 4m/san-dən 13 m/san-yə qədər 1m/san-dən bir dəyişməklə atmosferə atılan maddənin sürətindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsi (8.1) düsturu ilə hesablanaraq, şəkil 8.13-də göstərilmişdir.

Şəkil 8.13-də göstərildiyi kimi, borudan 1 saniyə ərzində atmosferə atılan maddənin sürəti artdıqca, atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olun-

ması zamanı çirklənmə mənbəsindən olan məsafədə dəyişmə qiyməti də artır. Məsələn, 4 m/san-də bu məsafə 471,4 m -dirsə, 13 m/san-də 679,3-dür. Göstərmək olar ki, borudan 1 san. ərzində atılan maddənin sürəti 3.25 dəfə artdıqda, atmosfer havasındakı zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafə 1.45 dəfə artır.



Şəkil 8.13. Borudan 1 san. ərzində atmosfərə atılan maddənin sürətindən asılı olaraq atmosfer havasında zərərli maddənin maksimal konsentrasiyasının müşahidə olunacağı çirklənmə mənbəsindən olan məsafənin dəyişməsi

IX FƏSİL. TEXNOGEN QƏZALAR NƏTİCƏSİNDƏ ƏTRAFATILMIŞ GÜCLÜ TƏSİRƏ MALİK ZƏHƏRLİ MADDƏLƏRİN MİQDARININ VƏ YAYILMA MİQYASININ RİYAZİ MODELİ

9.1. Modelin metodiki əsası

Artıq bütün dünya üzrə yığılmış kimyəvi fəal maddələrin ehtiyatı ciddi təhlükə yaradır və onun dağıdıcı qüvvəsi nüvə silahlarının gücü ilə bir ölçüyə çatmışdır. Güclü təsirli zəhərli maddələrlə əlaqəli olan qəzaların statistikasını göstərmişdir ki, onun $\approx 18\%$ -i dəmiryolunda baş verən qatar qəzaları (belə maddələri daşıyan) ilə əlaqəlidir. Güclü təsirli zəhərli maddələrlə əlaqəli qəza hallarının yaranması xronologiyasını göstərmişdir ki, əgər sənayedə birinci dəfə iri qəza ABŞ-ın Uayndott şəhərində 1917-ci ildə qeydə alınmış, bu vaxt kimya müəssisəsindən atmosferə xlorun atılması baş vermiş, nəticədə 1 nəfər həlak olmuşdusa, 1984-cü ildə Hindistanın Bxopal şəhərində kimya müəssisəsində baş verən fəlakət 3150-dən çox insanın həyatına son qoymuşdur.

Ümumiyyətlə isə, sənayedə istifadə olunan bütün kimyəvi təhlükəli maddələrdən (onların sayı 2000-dən çoxdur) 34-ü güclü təsirli zəhərli maddələr (GTZM) kimi təsnifatlaşdırılır. GTZM - kimyəvi maddədir və onların ətrafa axıtılması və tullantısı zamanı zədələyici və ölümcül konsentrasiyasında havanın çirklənməsinə və insanların, heyvanların və bitkilərin kütləvi zədələnməsinə gətirib çıxara bilər. GTZM kimi ən çox istifadə olunanlara xlor, amonyak, nitrilakril turşuları, sinil turşusu, fosgen, azothidrogen, ftorlu hidrogen, metilizosianat, hidrogen oksidi və s. aiddir. Qazformalı GTZM-lər bir qayda olaraq hermetik, polad qablarda öz buxarlarının təzyiqi altında (600-1200 kPa) sıxılmış vəziyyətdə saxlanılır və texnoloji obyektlərə boru kəmərləri vasitəsilə verilir.

Müasir sənayenin xarakterik cəhətlərindən biri, böyük əksəriyyəti kəskin və xroniki intoksikasiya təhlükəsindən ibarət

olan və istehsalatda zərərli maddələrin istifadəsidir. Amma, yalnız kimyəvi maddələrin kiçik bir hissəsi qəza zamanı ətraf təbii mühitə atılarkən insanları kütləvi formada zədələyə bilər.

Qəfil ətrafa qəza atılması halında demək olar ki, bütün GTZM buxarabənzər və ya aerosol vəziyyətə keçir və inqalyasiya yolu ilə orqanizmə daxil olur. GTZM-in əsas xarakteristikası onların toksik olmasıdır. Toksiklik (*yunan sözündən toxi-kon- zəhər*) – bir neçə kimyəvi birləşmənin və bioloji mühtin maddələrinin zəhərlilik xassəsidir və müəyyən miqdarda canlı orqanizmə (insan, heyvan və bitkilər) düşərsə, onların fizioloji funksiyalarının pozulmasına gətirib çıxara bilər.

Zəhərləyici maddələrə analoji olaraq GTZM-lər dayanıqlı və dayanıqsız növlərə bölünür. Dayanıqlı maddələr – bu qaynama temperaturu 140°C -dən yuxarı olan maddələrdir (dioksin, sulfat turşusu, anilin və s.). Onlar yoluxmuş ərazidə zədələyici təsirini bir neçə saatdan bir neçə həftəyə və aya qədər saxlayaraq əlverişsiz ekoloji vəziyyət yaradırlar. Dayanıqsız maddələr qaynama temperaturu 140°C -dən aşağı olan maddələrdir. Onlar açıq ərazidə öz zədələyici təsirlərini 1 saata qədər saxlayır. Əksər GTZM-lər dayanıqsız növə aiddir. Əlbəttə ki, GTZM-in zədələyici təsirinin davamiyyətinə əhəmiyyətli dərəcədə obyektə qəza anında zəhərli maddələrin miqdarı, meteoroloji şərait, ərazinin xarakteri və s. kimi amillər təsir göstərir. İnkişaf sürətinə görə GTZM-in zədələyici təsirləri tez təsir edən və asta-asta təsir edən növlərə bölünür. Tez təsir edənlər - intoksikasiya ilk on saniyələrdə, dəqiqələrdə və ya on dəqiqəlikdə sürətlə inkişaf edir. GTZM -in əksəriyyəti – tez təsir edən zəhərlərdir. Yavaş-yavaş təsir edənlər isə gizli təsir dövrülyünə malikdir və konsentrasiyadan asılı olaraq 2 saatdan 12 və daha çox saata qədər davam edir (fosgen, xlorpikrin, azot turşuları və s.). Bu proseslərin isə güclü ekoloji fəsadları yarana bilər və müvafiq qiymətləndirilmələr aparılmalıdır.

Müxtəlif səbəblərdən yaranan qəza və katastrofalar vaxtı GTZM-lərin dağılması ilə müşayiət olunan təhlükəli halların

fəsadlarının qiymətləndirilməsi üçün bir sıra metodiki məsələlər həll edilmişdir. Onlardan biri keçmiş SSRİ məkanında fəvqəladə hallar üzrə dövlət qurumlarında istifadə olunan “Kimyəvi təhlükəli obyektlərdə və nəqliyyat vasitələrində qəzalar (dağıntılar) vaxtı GTZM-lə zəhərlənmənin miqyasının proqnozlaşdırılması metodika”sı (PД 52.04.253-90), digəri isə “Fəvqəladə hallarda kimyəvi vəziyyətin proqnozlaşdırılması və qiymətləndirilməsi” üzrə metodiki vəsaitdir. “ТОКЦИ” metodikası isə GTZM-lərin təhlükəli konsentrasiyasının məkan- zaman sahəsini, kimyəvi zəhərlənmə zonalarının ölçülərini, inqalyasiyon toksodozaya görə insanların zədələnmə dərəcələrini təyin etməyə imkan verir.

Bu məqsədlə, istifadə olunmasındakı sadəliyini, qarşıya qoyulan problemlərin ətraflı həllini təmin etdiyini və tədris prosesində geniş istifadə olunduğunu nəzərə alaraq, dərslikdə müxtəlif elmi ədəbiyyatda verilmiş üsullardan və bu sahədə mövcud elmi bilgilərin nəticələri əsasında müvafiq modelə baxılır.

9.2. Güclü təsirə malik zəhərli maddələrin yayılmasına və zədələyici intensivliyinə təsir edən təbii amillər

Hava şəraiti və ərazinin xüsusiyyətləri GTZM-lərin yayılma dərinliyinə və dərəcəsinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Bunlara atmosferdə və torpaq səthində ən əhəmiyyətli təsir göstərən hava elementlərinə havanın və torpağın temperaturu, yerətrafi atmosferin şaquli dayanıqlıq dərəcəsi, küləyin sürəti və istiqaməti, atmosfer yağıntıları və buludluq, GTZM-in özünü aparmasına təsir göstərən ərazinin elementlərinə relyef, bitki örtüyü və tikililər aiddir.

GTZM-lər atmosferdə buxar formalı, duman formalı və bərk (aerozol) halında ola bilirlər. Tərkibinə GTZM -lər daxil olmuş hava zəhərlənmiş hava (GTZM buludu) adlanır. Beləliklə, zəhərlənmiş havanın özünü aparması praktiki olaraq zəhərlənməmiş havadan fərqlənmir. Buna görə də yerətrafi at-

mosferdə hava ilə əlaqəli proseslərə təsir edən amillər də eyni olaraq qalacaqdır.

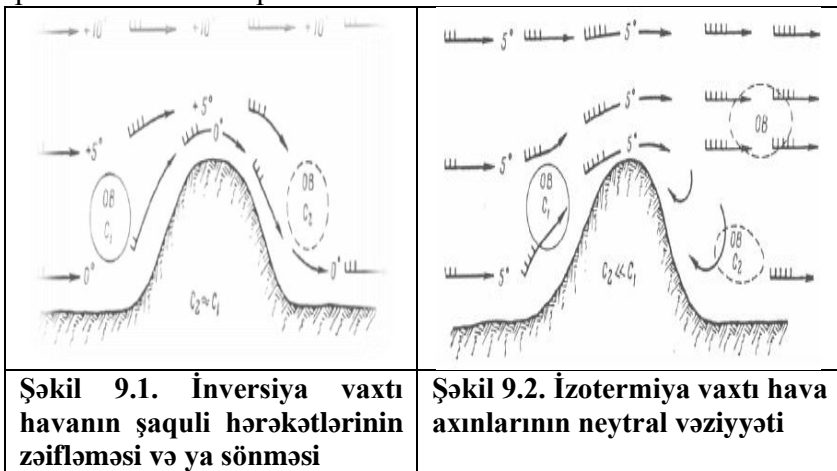
Havanın və torpaq səthinin temperaturu. Bu elementlər GTZM-lərin aqreqat vəziyyətini təyin etməklə, baxılan şəraitdə onun yayılma sahəsinə əhəmiyyətli təsir edir. Temperatur GTZM-in zəhərlənmiş zonalardan buxarlanmasının sürətini və nəticədə, onların buxarının havada dayanıqlıq dərəcəsini və konsentrasiyasını şərtləndirir. Bunlarla bərabər, mühafizə pal-tarlarının zəhərli maddə buraxma qabiliyyəti və deməli, insan dərisinin müdafiəsi vasitəsinin gücü havanın temperaturundan asılıdır. Bunlarla bərabər, zəhərlənmiş havanın özünü aparması havanın temperaturundan asılı olan atmosferin şaquli dayanıqlıq dərəcəsindən asılıdır. Ümumiyyətlə, meteorologiyada havanın şaquli dayanıqlılığının üç dərəcəsi seçilir.

Havanın şaquli istiqamətdə dayanıqlılıq dərəcəsi havanın temperaturunun şaquli qradiyentinin qiymətlərinə, yəni iki standart hündürlükdə - yerin səth örtüyü üzərindən 20 və 150 sm hündürlüklərdəki temperatur fərqlərinə görə təyin edilir. Mənfi qradiyent inversiyaya, sıfır – izotermiyaya, müsbət isə konvek-siyaya müvafiqdir.

Birinci hal inversiyadır, havanın temperaturunun hündür-lüyə görə artması və torpaq səthinin güclü soyuması ilə şərtlən-dirilən böyük şaquli dayanıqlılıqla xarakterizə olunur. Bu vaxt daha ağır kütləyə malik hava aşağıda, daha isti isə yuxarıda olur (şəkil 9.1). İnversiya hadisəsi gecə və səhərə yaxın saatlarda buludsuz səma halında yaranır. O, zəhərlənmiş hava bulud-larının səpələnməsinin qarşısını alır və GTZM-lərin yüksək kon-sentrisiyalarının yerətrafi atmosferdə qalmasına şərait yaradır. Eyni zamanda əhalinin lazımı səviyyədə mühafizə səviyyəsi üçün ən əlverişsiz şərait yaranır.

İkinci hal olan izotermiya atmosferin neytral şaquli və-ziiyyəti ilə xarakterizə olunur. Bu vaxt torpaq səthində və yer-ətrafi atmosferin bütün hündürlüklərində havanın temperaturu eyni olur və dəyişməz qalır (şəkil 9.2). İzotermiya dayanıqlı

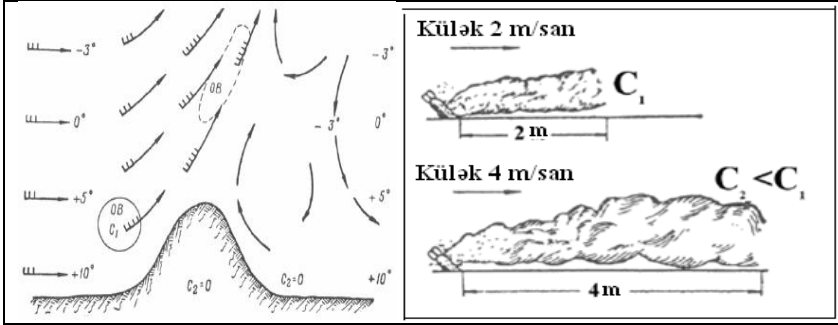
havada səhər və axşam saatlarında yaranır, lakin bunun üçün ən əlverişli şərait tutqun hava şəraitidir. Buludluğun mövcudluğu havanın temperaturunun sutkalıq gedişini pozmaqla, gündüz və gecə saatlarında hava və torpaq səthi arasında qızma dərəcəsinin fərqi azaldır, bununla da havanın şaquli dayanıqlığının pozulması aradan qaldırılır.



Üçüncü hal konveksiyadır və havanın böyük şaquli dayanıqsızlıq dərəcəsi ilə xarakterizə olunur. Bu hadisə havanın temperaturunun hündürlüyə görə kəskin azalması və torpaq səthinin güclü qızması ilə baş verir (şəkil 9.3). Konveksiya adətən buludsuz yay gündüzləri vaxtı yaranır. O, zəhərlənmiş havanın güclü səpələnməsinə gətirib çıxarır, GTZM-lərin konsentrasiyası çox sürətlə, bəzi hallarda isə bir anda zədələyici konsentrasiya səviyyəsindən aşağı düşür ki, bu zaman əhalinin təhlükəsizliyi üçün ən əlverişli şərait yaranır.

Külək. Küləyin istiqaməti ətraf ərazilərin zəhərlənməsinin mümkün fəsadlarının təyin edilməsində əhəmiyyətli rol oynayır. Küləyin sürəti və strukturu yüksək konsentrasiyalı zəhərli havanın bir yerdə qalma davamiyyətinə və yayılma məsafəsinə böyük təsir göstərir. Məsələn, zəif küləkdə zəhərli hava daha yavaş yayılır, yüksək konsentrasiyalı hava orada daha çox qalır,

güclü və şiddətli küləklərdə isə zəhərli hava sürətlə səpələnərək, təhlükəli halın yoxa çıxmasını şərtləndirir (şəkil 9.4). Bunlarla bərabər, küləyin sürəti artıqca GTZM-in zəhərlənmiş sahədən buxarlanması sürəti artır.



Şəkil 9.3. Konveksiya prosesinin, yəni havanın şaquli hərəkətlərinin inkişafı

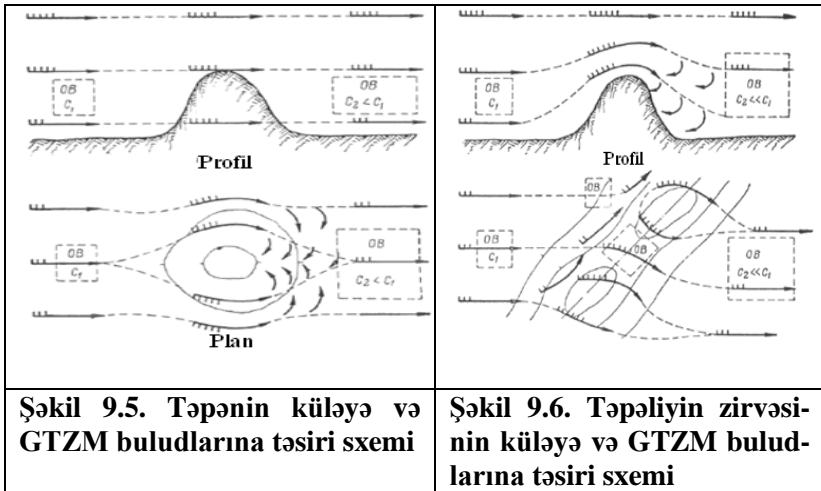
Şəkil 9.4. Küləyin sürətinin GTZM-lərin başlanğıc konsentrasiyasına təsiri

Atmosfer yağıntıları. Atmosfer yağıntıları, başlıca olaraq isə əsasən yağışlar zəhərlənmiş havada həm GTZM-lərin konsentrasiyasına, həm də zəhərlənmə dərəcəsinin davamiyyətinə təsir göstərir. Yağışların GTZM-ə mexaniki təsiri, həmçinin yağışlarla əlaqəli olan turbulentiyyənin artması onun konsentrasiyasının azalmasına gətirib çıxarır. Məsələn, güclü yağışlar GTZM-i mexaniki olaraq torpaq səthindən yuyub aparmaqla, nisbətən qısa müddət ərzində ərazinin zəhərlənmə dərəcəsinə azalda bilər. Zəif yağıntı hallarında isə belə proseslər demək olar ki, getmir. Bunlarla bərabər, yağışlar obyektlər üzərindən zəhərli maddələrin yuyulub aparılmasına, onların tədricən alçaq ərazilərdə toplanmasına və su mənbələrinin çirklənməsinə kömək edir.

Buludluq havanın şaquli dayanıqlıq dərəcəsinə və deməli, GTZM-lərin özünü aparmasına təsir edən amillərdən biridir. Bunlardan əlavə, buludluq zəhərlənmiş əraziləri kölgələndirərək, ora günəş şüalarının düşməsinin qarşısını alır, nəticədə hə-

min ərazidən GTZM-lərin buxarlanması zəifləyir və onların bu ərazilərdə təsir davamiyyətini artırır.

Relyef. Relyefin təsiri daha çox özünü atmosferdə inversiya və ya izotermiyanın olması halında daha çox büruzə verir. Bunlarla bərabər, təpəliklər küləyin hərəkətinə maneəçilik törədərək, küləkdöyən tərəfdə, xüsusən də külək tutmayan tərəfdə burulğanların yaranmasına, onların zirvələrində və yan yamaclarında küləyin sürətlənməsinə səbəb olur. Bunların və zəhərli buludların uzununa və eninə yayılması səbəbindən təpəliklər zəhərli hava hissəciklərinə səpəlayici təsir göstərir (şəkil 9.5 və 9.6).

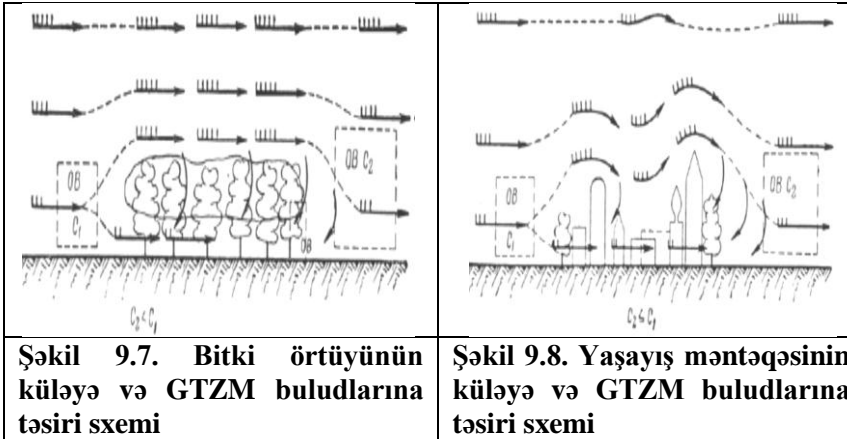


Bitki örtüyü. Bitki örtüyünün zəhərli hava hissəciklərinə təsiri aşağıdakı hallarda olur: 1) zəhərli hava hissəcikləri öz hərəkət yolunda meşə massivinə rast gəlir; 2) zəhərli hava hissəcikləri meşənin özünün içərisində yaranır. Birinci halda zədələnmə effekti azalır.

Külək və zəhərli hava hissəcikləri ağacların yuxarı hissəsindən meşədən yan hərəkət edir, bu vaxt burulğanlar yaranır və 500 m-ə qədər meşənin külək tutmayan tərəfində öz təsirini saxlayır. Zəhərli hissəciklərin bir hissəsi isə külək döyən tə-

rəfdən 300 m-ə qədər məsafədə meşənin içərisinə daxil olur və orada güclü zəhərlənmə zonası yaradır (şəkil 9.7). Meşə üzərindən keçən zəhərli hava hissəcikləri meşənin içində durğunluq hesabına və ağacların ucları tərəfindən səpələnməsi nəticəsində aşağı konsentrasiyaya keçir. İkinci halda GTZM-lərin yüksək konsentrasiyaları uzun müddət qəza rayonunda qala bilər. Bu vaxt bitki örtüyü ərazinin zəhərlənməsi davamiyyətini artırır.

Yaşayış məntəqələrinin tikililəri. Yaşayış məntəqələri də zəhərli hava hissəciklərinin yayılmasına meşənin göstərdiyi təsirə analoji təsir göstərir. Zəhərli hava hissəcikləri buludu yaşayış məntəqəsindən yan keçərkən səpələnir, yaşayış məntəqəsinin içində isə qismən durğunluq zonası əmələ gəlir (şəkil 9.8).



Xarakterindən və yerləşmə xüsusiyyətlərindən asılı olaraq burada müxtəlif tikili növləri GTZM-lərlə zədələnmənin davamiyyətinin artmasına bu və ya digər dərəcədə təsir göstərir.

Su səthləri. İlin isti dövründə dəniz, böyük göl və çay sahillərində azbuludlu və sakit havada briz adlanan yerli küləklər yaranır. Onlar gecə vaxtı sahildən su səthi üzərinə, gündüz saatlarında isə su səthindən quru səth üzərinə əsir. Sahilyanı rayonlarda zəhərli hava hissəciklərinin özünü aparması briz rejiminə tabe olacaqdır.

Süxurlar. Bərk süxurlar CTZM-lərin buxarlanmasını asanlaşdırır, narin süxurlar isə - əksinə, çətinləşdirir.

9.3. Zəhərli kimyəvi maddələrin təsiredici parametrlərinin modelləşdirilməsi

Zəhərli kimyəvi maddələrin təsir zonalarının müəyyənləşdirilməsi. Güclü təsirli zəhərli maddələrin təsir zonalarının müəyyənləşdirilməsindən əvvəl fəvqəladə hallarla əlaqəli olan bir sıra məsələlərə baxmaq lazımdır. Onlar aşağıdakılardır:

1) GTZM-lə əlaqəli olan qəza dedikdə, istehsalatda texnoloji proseslərin pozulması, boru kəmərlərinin, xüsusi qabların, anbarların, nəqliyyat vasitələrinin zədələnməsi nəticəsində insanların və heyvanların kütləvi zəhərlənməsinə gətirib çıxara bilən miqdarda GTZM-lərin atmosferə atılması nəzərdə tutulur.

2) Kimyəvi təhlükəli obyektin dağılması isə katastrofalar və təbii fəlakət nəticəsində GTZM-lərin saxlanıldığı bütün vasitələrdə baş verən hermetikliyin tam pozulması və texnoloji kommunikasiyaların pozulması kimi qəbul edilir.

3) GTZM-lə əlaqəli olan fəvqəladə hallarda vəziyyəti düzgün qiymətləndirmək üçün aşağıdakı təsir zonaları fərqləndirilir.

4) GTZM-lə zədələnmə zonası elə bir ərazidir ki, burada GTZM-in konsentrasiyası insanların həyatı üçün təhlükəli həddə çatır.

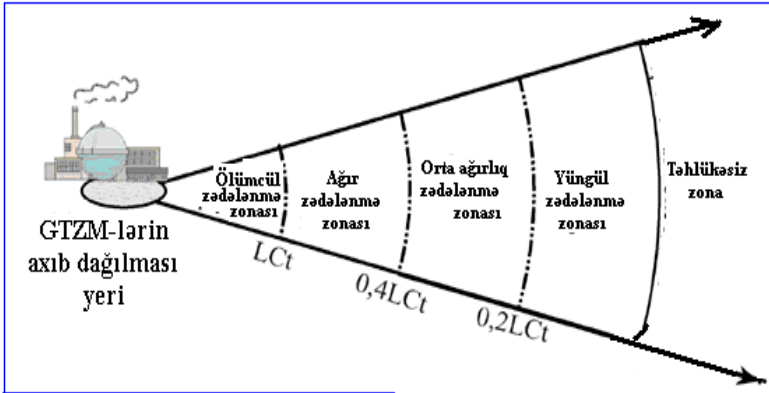
5) GTZM ilə faktiki zəhərlənmə zonasının sahəsi elə bir sahədir ki, orada GTZM ilə zəhərlənmə həyat üçün təhlükəli hədd çərçivəsindədir. GTZM ilə mümkün zəhərlənmə zonasının sahəsi elə bir sahədir ki, onun hüdudunda küləyin istiqamətinin dəyişməsinin təsiri altında GTZM buludları yerini dəyişə bilər.

6) Hədd toksodoza – inqalyasiyon toksodozadır və müəyyən ehtimalla zədələnmənin başlanğıc əlamətlərini göstərir.

7) GTZM-lər insan orqanizminə iki yolla daxil ola bilər: dəridən keçməklə; nəfəs orqanları vasitəsilə keçməklə. Axırındı halda inqalyasiyon toksodoza barədə demək olar və o, *Ct* kimi

işarə olunmaqla, toksik maddənin konsentrasiyasının təsir müddətinin hasilinə bərabərdir, ölçü vahidi isə (mq-dəq.)/litr - dir. Konsentrasiya təsir müddətindən asılıdır və onu verilən konsentrasiyanın qiymətlərində mütləq göstərmək lazımdır. Ct parametri alman kimyaçısı F.Haberin adından götürülməklə “**ölümcüllüyün haber amili**” adını almışdır. GZTM-in nəfəsalma orqanları vasitəsilə təsiri vaxtı toksiklik dərəcəsinin səviyyəsini xarakterizə etmək üçün aşağıdakı kəmiyyətlər əsasdır: $LCt50$ – orta ölümcül toksodoza; $ICt50$ – sıradan çıxardan orta toksodoza; $PCt50$ – orta sərhəd toksodoza. Adətən orqanizmin 100% ehtimalla məhv olmasına gətirib çıxaran mütləq ölümcül toksodoza və orta ölümcül toksodoza (zədələnən orqanizmlərin 50%-i məhv olur) anlayışlarından istifadə olunur.

Kimyəvi zəhərlənmə rayonunda aşağıdakı zonalar seçilir: ölümcül dozalı; ağır zədələnməli; orta zədələnməli; yüngül zədələnməli zonalar (şəkil 9.9).



Şəkil 9.9. Zədələyici təsirinə görə GTZM-lərlə zəhərlənmə zonaları

Kimyəvi vəziyyətin qiymətləndirilməsi üçün başlanğıc məlumatlara aşağıdakılar aiddir: GZTM-in növü və miqdarı, meteoroloji şərait, zəhərlənmiş havanın yayılması yolunda ərazinin və tikililərin xarakteri, saxlama şəraiti, zəhərli maddələrin ətrafa atılma xarakteri, insanların zəhərlənmə dərəcəsi.

GTZM-in təsirini qiymətləndirmək üçün aşağıdakı zədələyici parametrlər hesablanır: -GTZM-lə zəhərlənmə zonasının həqiqi dərinliyi (yayılma məsafəsi); -GTZM-lə zəhərlənmə zonasının sahəsi; -zəhərli havanın obyektə çatacağı vaxt və GTZM-in zədələyici təsirinin davam edəcəyi müddət; -kimyəvi zədələnmə ocağında ola biləcək insan itkilərinin sayıdır.

Qəza nəticəsində ətrafa atılmış güclü təsirli zəhərli maddələrinin ekvivalent miqdarının hesablanması. Ətrafa atılan maddələrin fiziki-kimyəvi xassələrindən asılı olaraq həmin maddələrin atmosfer havası ilə qarışması baş verir və nəticədə onların birinci və ya ikinci bulud formaları yaranır. Birinci bulud – GTZM-in bulududur və qəza vaxtı GTZM-in dağılması nəticəsində onun tam və ya bir hissəsi ani olaraq (1-3 dəq.) atmosfərə keçməsi səbəbindən yaranır. İkinci – GTZM-in bulududur və axıb dağılmış GTZM-in səth örtüyündən buxarlanması nəticəsində yaranır.

Birinci bulud formasına keçən GTZM-in ekvivalent miqdarı aşağıdakı kimi hesablanıla bilər:

$$Q_{ekv1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0, \quad (9.1)$$

burada K_1 - GTZM-in saxlanma şəraitindən asılı olan əmsal; K_3 -GTZM-in fiziki-kimyəvi xassələrindən asılı olan əmsal; K_5 –atmosferin şaquli dayanıqlıq dərəcəsini nəzərə alan əmsal; K_7 -havanın temperaturunu nəzərə alan əmsal; Q_0 –qəza vaxtı GTZM-in ətrafa atılmış (dağılmış) miqdarıdır, t.

Qeyd etmək lazımdır ki, K_1 və K_3 əmsalları hər bir GTZM üçün müxtəlifdir və onların qiymətləri xüsusi məlumat cədvəllərində (cədvəl 9.1), K_5 əmsalının qiymətləri isə cədvəl 9.2-də verilmişdir.

Sıxılmış qazlar üçün $K_7=1$ götürülür, digər hallar üçün isə K_7 üçün cədvəl 9.1-də verilən məlumatlar əsasında aşağıdakı statistik əlaqə alınmışdır və bu əlaqənin korrelyasiya əmsalı $r=1.00$:

$$K_7 = 0.0175 \cdot t + 0.66, \quad (9.2)$$

burada t –havanın temperaturudur.

Cədvəl 9.1

Bir sıra GTZM-in xarakteristikaları və zəhərlənmə zonasının dərinliyini hesabmaq üçün köməkçi əmsallar

Sıra №-si	GTZM	GTZM-nin sıxlığı, t/m ³		Qaynama temperaturu, °C	Hədd toksodoza, mq daq/l	Köməkçi əmsalların qiymətləri								
		qaz	maye			K ₁	K ₂	K ₃	K ₇ havanın temperaturu üçün (°C)					
									-40	-20	0	20	40	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Akrolein	-	0,839	52,7	0,2*	0	0,013	3,0	0,1	0,2	0,4	1	2,2	
2	Ammonyak													
	təzyiq altında saxlama	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,4}{1}$	
	İzotermik saxlama	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1}$	
3	Asetonitril	-	0,786	81,6	21,6	0	0,004	0,028	0,02	0,1	0,3	1	2,6	
4	Metilamin	0,0014	0,699	-6,5	1,2	0,13	0,034	0,5	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,7}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,8}{1}$	
5	Bromlu metil	-	1,732	3,6	1,2	0,04	0,039	0,5	$\frac{0}{0,2}$	$\frac{0}{0,4}$	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2,3}{1}$	
6	Xlorlu metil	0,0023	0,983	-23,76	10,8	0,125	0,044	0,056	$\frac{0}{0,5}$	$\frac{0,1}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,5}{1}$	
7	Fosgen	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	$\frac{0}{0,1}$	$\frac{0}{0,3}$	$\frac{0}{0,7}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2,7}{1}$	
8	Ftor	0,0017	1,512	-188,2	0,2	0,95	0,038	3,0	$\frac{0,7}{1}$	$\frac{0,8}{1}$	$\frac{0,9}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,1}{1}$	
9	Xlor	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	$\frac{0}{0,9}$	$\frac{0,3}{1}$	$\frac{0,6}{1}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,4}{1}$	

Qeyd: K₇-nin 10-14 qrafalarının sürətlərindəki qiymətləri 1-ci dərəcəli, məxrəclərindəki isə 2-ci dərəcəli buludlara aiddir.

Cədvəl 9.2

Atmosferin şaquli dayanıqlığını nəzərə alan əmsallar

Atmosferin şaquli dayanıqlıq dərəcəsi	K ₅	K' ₅
İnversiya	1,00	0,081
İzotermiya	0,23	0,133
Konveksiya	0,08	0,235

İkinci bulud formasına keçən GTZM-in ekvivalent miqdarı aşağıdakı kimi hesablanı bilər:

$$Q_{ekv2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot \rho} \quad (9.3)$$

burada K_2 -GTZM-in fiziki-kimyəvi xassələrindən asılı olan əmsal; K_4 -küləyin sürətini nəzərə alan əmsal; K_6 – qəzadan sonra keçən vaxtdan asılı olan əmsal; h -maddə saxlanılan rezervuarın altında döşəməyə dağılan maye halındakı GTZM qatının qalınlığı, m; ρ -GTZM-nin sıxlığıdır, t/m³.

Cədvəl 9.3

Küləyin sürətindən asılı olan K_4 əmsalının qiymətləri

Küləyin sürəti, m/san	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
K_4	1,00	1,33	1,67	2,00	2,34	2,67	3,00	3,34	3,67	4,00	5,67

(9.3) tənliyinə daxil olan əmsal və parametrləri təyin edək. K_2 xlorun ilkin təsirli zəhərləyici dozasına bərabərliyinin nisbətini göstərir. Məsələn, xlor üçün $K_2=1$ və $\rho_m=1,558$ t/m³. Maddə saxlanılan rezervuarın altında döşəməyə sərbəst dağılan vaxtı maye halındakı GTZM qatının qalınlığı $h=0.05$ m götürülür. Əgər rezervuarın altında diblik olarsa onda:

$$h = H - 0,2, \quad (9.4)$$

burada H –rezervuarın altındakı dibliyin hündürlüyüdür.

K_4 əmsalının qiymətləri cədvəl 9.3-də verilmişdir.

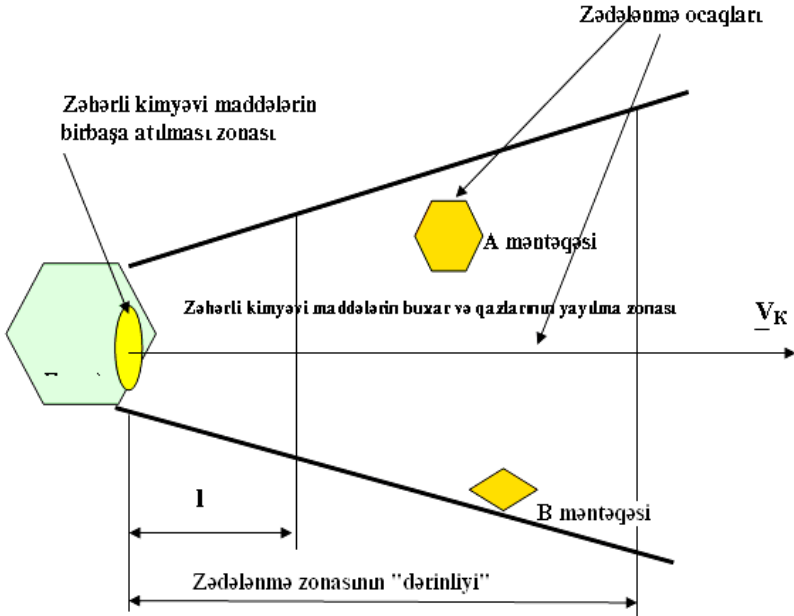
K_6 -əmsalını təyin etmək üçün ilk əvvəl qəza nəticəsində atılmış (dağılmış) GTZM-in buxarlanma davamiyyəti, sonra iş əmsalının özü hesablanır:

$$T_{bux} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7}, \quad (9.5)$$

$$K_6 = \begin{cases} T_A^{0.8}, & T_A < T_{bux} \text{ olduqda} \\ T_{bux}^{0.8}, & T_A \geq T_{bux} \text{ olduqda} \end{cases} \quad (9.6)$$

burada T_A – qəzadan sonra keçən vaxtdır.

Ekstremal hallarda zəhərli kimyəvi maddələrin yayılma məsafəsinin modeli. Güclü təsirli zəhərli maddələrin qəza nəticəsində yayılma miqyasının təyin edilməsini şəkil 9.10-dakı sxemə əsasən həyata keçirmək olar. Burada ilk əvvəl GTZM-lə zəhərlənmə zonasının həqiqi dərinliyinin (yayılma məsafəsinin) (D , km) hesablanması qaydaları verilmişdir.



Şəkil 9.10. GTZM-lərlə zəhərlənmə zonalarının sxematik təsviri

Bu parametrlər aşağıdakı düsturla təyin oluna bilər:

$$D = \min(D_{zede}, D_{max}), \quad (9.7)$$

burada D_{zede} - GTZM-lə tam zəhərlənmə zonasının dərinliyi (yayılma məsafəsi); D_{max} - GTZM-lə zəhərlənmə zonasının maksimal mümkün ola bilən dərinliyidir (yayılma məsafəsi).

D_{zede} göstəricisi aşağıdakı düsturla təyin oluna bilər:

$$D_{zede} = \begin{cases} D_1 + 0,5 \cdot D_2, & D_1 \geq D_2 \quad \text{olduqda} \\ D_2 + 0,5 \cdot D_1, & D_1 < D_2 \quad \text{olduqda} \end{cases}, \quad (9.8)$$

burada D_1 - birinci bulud üzrə zəhərli maddələrin yayılma dərinliyi, km; D_2 –ikinci bulud üzrə zəhərli maddələrin yayılması dərinliyidir, km.

D_1 və D_2 parametrləri belə hesablanacaq:

$$D_1 = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{ekv1}}{D_{Cl2}} \right)^\psi, \quad (9.9)$$

$$D_2 = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{ekv2}}{D_{Cl2}} \right)^\psi, \quad (9.10)$$

burada λ və ψ -küləyin sürətindən asılı olan əmsallar; D_{Cl2} -xlərin toksodozası; K_M -ərazinin təsirini nəzərə alan əmsal; Q_{ekv1} – birinci bulud formasına keçən GTZM-in ekvivalent miqdarı, t; Q_{ekv2} – ikinci bulud formasına keçən GTZM-in ekvivalent miqdarıdır, t;

(9.9) və (9.10) tənliklərinə daxil olan əmsal və parametrləri təyin edək. λ və ψ əmsallarının küləyin sürətindən (V) asılı olaraq qiymətləri cədvəl 9.4-də verilmişdir. Söhbət modelin qurulmasından getdiyi üçün, həmin parametrlərin cədvəldə verilmiş qiymətlərinin küləyin sürətindən asılılığının aşağıdakı ifadələri alınmışdır:

$$\lambda = -1.010 \cdot \ln(V) + 3.1768. \quad (9.11)$$

$$\psi = -0.037 \cdot \ln(V) + 0.6042. \quad (9.12)$$

Cədvəl 9.4

Küləyin sürətindən asılı olan λ və ψ əmsalları

Əmsallar	Küləyin sürəti, m/san									
	1	2	3	4	5	6	7	10	13	15
λ	3,73	2,31	1,80	1,52	1,34	1,20	1,11	0,92	0,80	0,76
Ψ	0,606	0,580	0,563	0,551	0,542	0,537	0,531	0,515	0,511	0,508

(9.11) tənliyinin korrelyasiya əmsalı $r=0.95$; (9.12) tənliyinin korrelyasiya əmsalı $r=1.00$. bunlar da alınan əlaqələrin demək olar ki, funksional xarakter daşdığı göstərir.

K_M parametrinin qiymətləri səth örtüyünün kələ-kötürlük əmsalından (K_p) asılı olan qiymətləri cədvəl 9.5 verilmişdir. K_p əmsalı bitki və meşə örtüklərinin və ərazinin relyefindən asılı olan əmsaldır və onun qiymətləri cədvəl 9.6-nın məlumatlarına əsasən təyin olunur.

K_M əmsalı üçün cədvəl 9.5-də verilən K_p məlumatları əsasında aşağıdakı statistik əlaqə alınmışdır və onun korrelyasiya əmsalı (r) tənliyin yanında göstərilmişdir:

$$K_M = \begin{cases} -0.4563 \cdot \ln K_p + 0.0371, & r = 0.97, \text{ konveksiya olduqda} \\ -0.4815 \cdot \ln K_p + 0.0995, & r = 0.98, \text{ izotermiya olduqda} \\ -0.4735 \cdot \ln K_p + 0.1590, & r = 0.96, \text{ inversiya olduqda} \end{cases} \quad (9.13)$$

Ekstremal hallarda zəhərli kimyəvi maddələrin yayılma sahəsinin modeli. İndi isə GTZM-lə zəhərlənmə zonasının sahələrini təyin edək. Bu vaxt mümkün və faktiki zəhərlənmə sonalarının sahələri hesablanır.

Cədvəl 9.5

Ərazinin təsiri əmsalı, K_M

K_p	Atmosferin şaquli dayanıqlığı		
	konveksiya	izotermiya	inversiya
0,01	2,0	1,9	1,6
0,05	1,0	1,0	1,0
0,1	0,8	0,8	0,9
0,2	0,5	0,6	0,6
0,3	0,4	0,5	0,5
0,4	0,3	0,4	0,5
0,5	0,3	0,4	0,4
0,6	0,3	0,3	0,4
0,7	0,2	0,3	0,4
0,8	0,2	0,3	0,4
0,9	0,2	0,2	0,3
1,0	0,1	0,2	0,3

1,1	0,1	0,2	0,2
1,2	0,1	0,1	0,1
1,3	0,1	0,1	0,1
1,4	0,05	0,05	0,05
1,5	0,05	0,05	0,05
1,6	0,05	0,05	0,05

Mümkün zəhərlənmə zonasına qeyri-müəyyən sektor kimi baxılır və onun daxilində faktiki (real) zəhərlənmə zonası yerləşir. Bu sektor işçilərin və əhalinin təhlükəsizliyinin təminatı üçün tədbirlərin görülməsi ərazisini xarakterizə edir.

Cədvəl 9.6

Kələ-kötürlük əmsali K_P

Bitki növü	Meşə növü	Ərazi relyefinin növü					
		Hamar düzənlik	Dalğalı düzənlik	Təpəli düzənlik	yarğanlı	Dərə təpəlik	Dağətəyi
	Yarpaqlı	0.9/0.6	1.0/0.7	1.1/0.9	1.3/1.0	1.5/1.3	1.8/1.5
Meşəli-düzənlik	İynə yarpaqlı	0.6/0.5	0.8/0.7	1.0/0.8	1.1/0.9	1.2/1.0	1.5/1.3
	Yarpaqlı	0.4/0.2	0.6/0.3	0.8/0.5	0.9/0.6	0.9/0.7	1.1/1.0
Düzənlik		0.3/0.1	0.4/0.2	0.7/0.4	0.8/0.5	0.8/0.6	1.0/0.9
Yarımsəhra		0.1/0.5	0.2/0.1	0.4/0.3	0.5/0.5	0.6/0.6	0.8/0.8

Qeyd: *kəsrin sürətindəki qiymətlər yay fəslə, məxrəcindəki isə -qış fəslə üçündür.*

Əvvəlcə mümkün zəhərlənmə zonasının sahəsini (S_E) təyin edək. Bunu aşağıdakı düsturla hesablamaq olar:

$$S_E = \frac{\pi \cdot D_{hesab}^2}{360} \cdot \varphi, \quad (9.14)$$

burada D_{hesab} – zəhərlənmə zonasının hesablanmış həqiqi dərinliyidir, km; φ – küləyin istiqamətinin mümkün dəyişmə sektorunun bucağı (dərəcə), küləyin sürətindən asılı olaraq cədvəl 9.7-yə görə təyin edilir.

Cədvəl 9.7

GTZM-lə mümkün zəhərlənmənin bucaq ölçüləri

Küləyin sürəti, m/san	<0,5	0,5-1,0	1,0-2,0	>2,0
Bucaq ölçüləri (φ), dərəcə	360	180	90	45

Bundan sonra isə faktiki zəhərlənmə zonasının sahəsi hesablanacaq:

$$S_f = K_5' \cdot T_A^{0.2} \cdot D_{\max}^2, \quad \text{km}^2, \quad (9.15)$$

burada D_{\max} –toksodozanın mümkün qəbul edilən qiymətlərinə görə zəhərli buxarların yayılma dərinliyi (məsafəsi); K_5' -atmosferin şaquli dayanıqlığını nəzərə alan əmsaldır (qiymətləri cədvəl 9.2-də verilmişdir).

D_{\max} belə hesablanacaq:

$$D_{\max} = V_n \cdot T_{bux}, \quad (9.16)$$

burada V_n –zəhərli buludların ön hissəsinin daşınması sürəti, km/saat; τ -GTZM-in tam buxarlanması və ya zəhərlənmə mənbəsinin ləğv edilməsi müddətidir, saat.

V_n kəmiyyətinin küləyin sürətindən və atmosferin dayanıqlıq dərəcəsiindən asılı olan qiymətləri cədvəl 9.8 – də verilmişdir.

V_n kəmiyyəti üçün cədvəl 9.8-də verilən məlumatlar əsasında aşağıdakı statistik əlaqələr alınmışdır və bu əlaqələrin korrelyasiya əmsalları (r) tənliklərin yanında göstərilmişdir:

$$V_n = \begin{cases} 7 \cdot V, & r = 1.000, \text{ konveksiya, } 1 \leq V \leq 15 \text{ m/san olduqda} \\ 5.86 \cdot V + 0.21, & r = 1.000, \text{ izotermiya, } 1 \leq V \leq 4 \text{ m/san olduqda} \\ 5.4 \cdot V - 0.5, & r = 0.999, \text{ inversiya, } 1 \leq V \leq 4 \text{ m/san olduqda} \end{cases} \quad (9.17)$$

Cədvəl 9.8

Yerətrafi küləyin sürətindən asılı olaraq zəhərli buludların ön hissəsinin daşınması sürəti V_p , km/saat

Atmosferin stratifikasiyası	Yerətrafi küləyin sürəti, m/san														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
İnversiya	5	10	16	21											
İzotermiya	6	12	18	24	29	35	41	47	53	59	65	71	76	82	88
Konveksiya	7	14	21	28											

Zəhərlənmə zonasının hesablanmış həqiqi dərinliyi (D_{hesab}) belə hesablanacaq:

$$D_{hesab} = \min(D_{tam}, D_{max}). \quad (9.18)$$

$$D_{tam} = \max(D_1, D_2) + 0,5 \cdot \min(D_1, D_2). \quad (9.19)$$

Faktiki zəhərlənmə zonası ellips formasında olur, onun böyük oxu zəhərlənmə zonasının hesablanmış dərinliyinə bərabərdir, kiçik oxu isə faktiki zəhərlənmə sahəsindən asılıdır və zəhərlənmə zonasının eni belə hesablanır:

$$E_f = \frac{4 \cdot S_f}{\pi \cdot D_{hesab}} \text{ km}, \quad (9.20)$$

burada E_f – faktiki zəhərlənmə zonasının eni, km; S_f – zəhərlənmə zonasının faktiki sahəsi, km^2 ; D_{hesab} – zəhərlənmə zonasının dərinliyidir, km.

Zəhərli havanın obyektə çatacağı vaxtın və GTZM-in zədələyici təsirinin davam edəcəyi müddətin təyini. Zəhərli havanın baxılan əraziyə çatacağı vaxt ($T_{çat.}$) aşağıdakı kimi hesablanır:

$$T_{çat.} = \frac{L}{K_6 \cdot V_n}, \quad (9.21)$$

burada L – qəza baş verən obyektlə aralıda yerləşən ərazi arasında məsafədir, km.

Məkanın verilən nöqtəsində GZTM-in zədələyici fəaliyyətinin davamiyyəti ($T_{zədə}$) qaz və ya buxarformalı maddələrin atmosfərə daxil olması vaxtı ilə, yəni GZTM-in buxarlanması (T_{bux}) vaxtı və qaz dalğasının bu nöqtədən uzaqlaşdıqdan sonra zəhərli maddələrin təhlükəsiz konsentrasiyaya qədər azalması vaxtı ilə təyin olunur və aşağıdakı düsturla ifadə edilir:

$$T_{zədə} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} + \frac{1}{K_6 \cdot V_n}. \quad (9.22)$$

9.4. Model vasitəsilə hesablama eksperimentlərinin aparılması

Model vasitəsilə aparılan hesablama nümunəsi. Bir sıra tədqiqatlarda GTZM-lərin qəza vaxtı yayılmasının fəsadlarının proqnozlaşdırılması vaxtı hesablama eksperimentləri həyata keçirilir və proqnozlaşdırma aşağıdakı şərtlər çərçivəsində aparılır:

- GTZM-nin saxlanıldığı rezervuar və ya qab tam dağılır;
- sərbəst dağılıb yayılan GTZM-nin qalınlığının hündürlüyü dağılmanın bütün sahəsi üzrə 0.05 m götürülür;

- insanların zəhərlənmə zonasında qalmasının ən böyük müddəti GTZM-in tam buxarlanma müddətinə bərabər, lakin 4 saatdan artıq olmayan vaxt götürülür.

Başlanğıc məlumatlar kimi aşağıdakılar qəbul edilir:

- sənaye obyektində və ya nəqliyyat vasitəsində daşınan GTZM-in ümumi miqdarı;

- GTZM-in toksiki xassələri;

- atmosferə atılan GTZM-in miqdarı və onun səth örtüyünə axıb dağılması xarakteri (dibliyə, torpaq süxuruna, xüsusi bəndlə əhatələnmiş yerə);

- zəhərli maddələrin saxlanılması şəraiti və ətrafa atılmasının xarakteri;

- meteoroloji şərait (havanın temperaturu, anemorumbometr quraşdırılmış 10 m-lik hündürlükdə küləyin sürəti, atmosferin dayanıqlıq dərəcəsi), proqnozlaşdırma vaxtı belə qəbul olunur: havanın temperaturu 20⁰C, küləyin sürəti 1 m/san, atmosferin dayanıqlıq dərəcəsi - inverisiya;

- zəhərlənmiş buludun yayılma yolunda ərazinin və tikililərin xarakteri;

- GTZM-lər saxlanılan kimyəvi təhlükəli obyektlərdə qəza vaxtı qiymətləndirmə yaranmış faktiki vəziyyətə görə aparılır.

GTZM-lərin atılmasının kəmiyyət xarakteristikalarının təyininə aşağıdakılar daxildir: kimyəvi zəhərlənmə zonasının və insanları zədələmə zonasının ölçüləri; zəhərlənmiş havanın mə-

kanın verilmiş nöqtəsinə çatması vaxtı; GTZM-in zədələyici təsir müddəti; zəhərlənmə ocağında mümkün insan itkiləri.

Bu şərtlər çərçivəsində GTZM-lə əlaqəli aşağıdakı ehtimal olunan qəza variantı əsasında hesablama eksperimenti aparılmışdır.

Tutaq ki, dalğalı düzənlikdə yerləşən çirkab suların təmizləyici stansiyasında yay fəslində səhər saat 8⁰⁰-da **Q₀=10 t xlorun** təzyiq altında (sıxılmış formada) saxlanıldığı qabın dağılması nəticəsində qəza baş vermişdir. Xlor olan qab divarlarının hündürlüyü H=1,0 m olan diblikdə yerləşir. Qəzanın fəsadlarının proqnoz hesablanması vaxtı meteoroloji şəraitin aşağıdakı vəziyyəti mövcud olmuşdur: inversiya, küləyin sürəti V=3 m/san, havanın temperaturu t=+20⁰C. Qəza baş verən obyektə aralıda yerləşən ərazi arasında məsafə L=25 km.

Qəzadan T_A=2 saat sonra GTZM-lə zəhərlənmə zonasının həqiqi dərinliyi (yayılma məsafəsi); GTZM-lə zəhərlənmə zonasının sahəsi; zəhərli havanın obyektə çatacağı vaxt və GTZM-in zədələyici təsirinin davam edəcəyi müddət kimi parametrlər təyin edilməlidir.

Xlor təzyiq altında (sıxılmış formada) saxlanıldığı üçün, həm birinci, həm də ikinci zəhərli buludlar yaranır. İstifadə olunan tənliklərdəki parametrləri təyin edək. (9.1) düsturuna daxil olan parametrlər: məsələnin şərtinə görə **Q₀=10 t; K₁=0.18 (cədvəl 9.1); K₃=1.0 (cədvəl 9.1); K₇=1.0 (cədvəl 9.1); K₅=1.00 (cədvəl 9.3)**. Birinci dərəcəli zəhərli kimyəvi maddə buludunun ekvivalent miqdarını hesablayaq:

$$Q_{ekx1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 = 0,18 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,00 \cdot 10 = 1,8 \text{ t,}$$

İkinci dərəcəli zəhərli kimyəvi maddə buludunun ekvivalent miqdarını (9.3) düsturuna əsasən təyin edək

$$\begin{aligned} Q_{ekx2} &= (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot \rho} = \\ &= (1 - 0,18) \cdot 0,052 \cdot 1,0 \cdot 1,67 \cdot 1,0 \cdot 1,67 \cdot \frac{10}{(0,8 \cdot 1,558)} \approx 1 \text{ ton.} \end{aligned}$$

(9.9) düsturuna görə birinci bulud üzrə zəhərli maddələrin yayılma dərinliyini (D_1), (9.10) düsturuna görə isə ikinci bulud üzrə zəhərli maddələrin yayılması dərinliyini (D_2) təyin edək. Bu düsturlarda $\lambda=1,80$; $\psi=0,563$ (cədvəl 9.4); $D_{C12}=0,6$. Təmizləyici stansiya dalğalı düzənlikdə yerləşdiyi və hadisə yay fəslində baş verdiyi üçün cədvəl 9.6-a əsasən $K_p=0,2$ -dir. İnversiya halı olduğu üçün cədvəl 9.5-ə görə $K_M=0,6$.

$$D_1 = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{ekv1}}{D_{C12}} \right)^\psi = 1,80 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{1,8}{0,6} \right)^{0,563} = 2,02 \text{ km.},$$

$$D_2 = \lambda \cdot K_M \cdot \left(\frac{Q_{ekv2}}{D_{C12}} \right)^\psi = 1,80 \cdot 0,6 \cdot \left(\frac{1}{0,6} \right)^{0,563} = 1,44 \text{ km.}$$

(9.8) düsturuna əsasən zəhərlənmə zonasının tam dərinliyi: $D_{zede}=2,02+0,5 \cdot 1,44=2,74 \text{ km.}$

(9.16) düsturuna əsasən GTZM-lə zəhərlənmə zonasının maksimal mümkün ola bilən dərinliyi (yayılma məsafəsi) hesablanır. Cədvəl 9.8-dən görüldüyü kimi, zəhərli maddənin daşınması sürəti $V_n=16 \text{ km/saat}$ dir. Onda D_{max} əmsalı belə hesablanacaq:

$$D_{max} = V_n \cdot T_A = 16 \cdot 2 = 32 \text{ km.}$$

GTZM-lə zəhərlənmə zonasının həqiqi dərinliyi (9.7) düsturuna görə

$$D = \min(D_{zede}, D_{max}) = \min(2,74, 32,00) = 2,74 \text{ km.}$$

GTZM-lə zəhərlənmə zonasının sahəsi. Cədvəl 9.2-ə əsasən $K'_5 = 0,081$. Küləyin sürəti 3 m/san olduğu üçün cədvəl 9.7-yə əsasən $\varphi=45^0$.

$$S_f = K'_5 \cdot T_A^{0,2} \cdot D_{hesab}^2 = 0,081 \cdot 2^{0,2} \cdot 2,74^2 = \\ = 0,081 \cdot 1,15 \cdot 7,51 = 0,70 \text{ km}^2.$$

Mümkün zəhərlənmə sahəsi.

$$S_E = \frac{\pi \cdot D_{hesab}^2}{360} \cdot \varphi = \frac{3,14 \cdot 2,74^2}{360} \cdot 45 = 2,95 \text{ km}^2.$$

Zəhərlənmə zonasının eni belə hesablanır:

$$a = \frac{4 \cdot S_f}{\pi \cdot D_{hesab}} = \frac{4 \cdot 0,70}{3,14 \cdot 2,74} = 0,33 \text{ km.}$$

Zəhərli havanın obyektə çatacağı vaxt və GTZM-in zədələyici təsirinin davam edəcəyi müddət

$$T_{\text{çat.}} = \frac{L}{K_6 \cdot V_n} = \frac{25}{1,74 \cdot 16} = 0,9 \text{ saat.}$$

GTZM-in zədələyici fəaliyyət vaxtı (9.22) düsturuna əsasən hesablanır.

$$T_{\text{zede}} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} + \frac{1}{K_6 \cdot V_n} = \frac{0,8 \cdot 1,558}{0,052 \cdot 1,67 \cdot 1,0} + \frac{1}{1,74 \cdot 16} = 14,35 + 0,04 = 14,39 \text{ saat}$$

(9.5) tənliyinə daxil olan əmsal və parametrləri təyin edək. K_2 xlorun ilkin təsirli zəhərləyici dozasına bərabərliyinin nisbətini göstərir. Məsələn, xlor üçün $K_2=1$ və $\rho_m=1,558 \text{ t/m}^3$ (cədvəl 9.1); $K_4=1,67$ (cədvəl 9.3); K_6 əmsalı (9.6) düsturuna əsasən təyin edilir.

Axıb-dağılmış xlor təbəqəsinin dərinliyi göstərilən qiymət olacaq $h=H-0,2=1,0-0,2=0,8 \text{ m}$. Zəhərli maddənin buxarlanma vaxtı

$$T_{\text{bux}} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} = \frac{0,8 \cdot 1,558}{0,052 \cdot 1,67 \cdot 1,0} = 14,3 \text{ saat.}$$

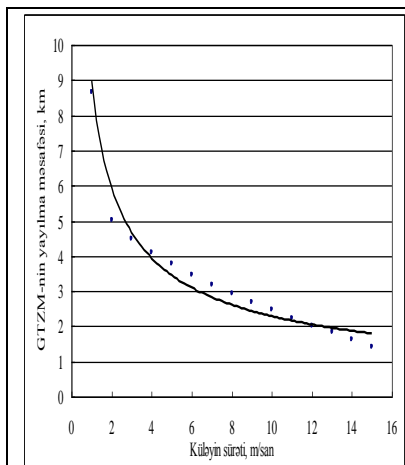
$T_A < T_{\text{bux}}$ olduğu üçün (9.6) düsturuna əsasən $K_6 = T_A^{0,8} = 1,74$.

Beləliklə, göstərmək olar ki, qəzadan $T_A=2$ saat sonra GTZM-lə zəhərlənmə zonasının həqiqi dərinliyi (yayıqla məsafəsi) 2,74 km, GTZM-lə zəhərlənmə zonasının sahəsi 0,70 km^2 , GTZM-lə mümkün zəhərlənmə zonasının sahəsi 2,95 km^2 , zəhərlənmə zonasının eni 0,33 km, zəhərli havanın obyektə çatacağı vaxt 0,9 saat, GTZM-in zədələyici təsirinin davam edəcəyi müddət 14,39 saat gözlənilir.

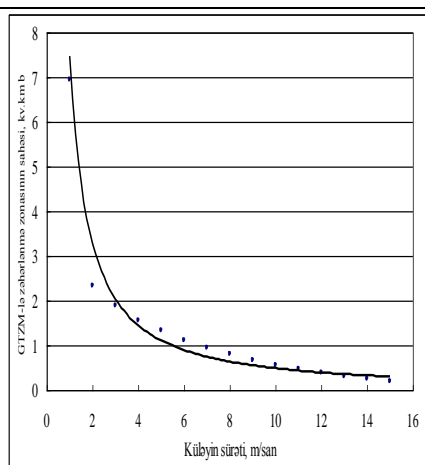
Model vasitəsilə hesablama eksperimentlərinin aparılması. Burada model vasitəsilə hesablama eksperimentlərinin apa-

rılmasında əsas məqsəd fəvqəladə halların fəsadlarının proqnozlaşdırılması vaxtı onların müxtəlif variantlı proqnozları və ya ssenariləri tərtib olunur. Bu məqsədlə GTZM hesab olunan xlorun fiziki-kimyəvi xassələrini əks etdirən parametrlər, atmosferdəki dayanıqlığın inversiya halındakı şəraiti üçün küləyin müxtəlif sürətləri intervalları əsasında qəza nəticəsində GTZM-lə zəhərlənmə zonasının həqiqi dərinliyi (yayılma məsafəsi) və zəhərlənmə zonasının sahəsinin proqnostik qiymətləri hesablanmışdır. Bu vaxt ətrafa atılan xlorun miqdarı 10 ton, küləyin sürəti 1 m/san-dən 15 m/san-yə qədər hər bir m/san-dən bir dəyişib. Proqnostik variantların bir neçəsi aşağıdakı qrafiklərdə verilmişdir (şəkil 9.10 və 9.11).

Şəkil 9.10-da qəzadan 5 saat keçdikdən sonra küləyin sürətindən və dağılan GTZM-in miqdarından asılı olaraq bu maddənin zəhərli buludlarının yayılma məsafəsinin (km), şəkil 9.11-də isə yayılma sahəsinin (km²) proqnostik qiymətləri öz əksini tapmışdır.



Şəkil 9.10. Küləyin dəyişməsindən asılı olaraq GTZM-nin yayılma məsafəsinin dəyişməsi



Şəkil 9.11. Küləyin dəyişməsindən asılı olaraq GTZM-nin yayılma sahəsinin dəyişməsi

Bu qrafiklərdən göründüyü kimi, küləyin sürəti artdıqca baxılan göstəricilərin qiymətləri azalır. Bunu belə izah etmək olar ki, zəif külək şəraitində zəhərlənmiş hava yavaş-yavaş yayılır və yüksək konsentrasiyalar daha uzun müddət qalır, güclü küləklər isə zəhərlənmiş havanı sürətlə dağıdır, eyni zamanda zəhərli maddələrin buxarlanmasını da sürətləndirir. GTZM-in dağılmış miqdarı və qəzadan sora keçən vaxtın artması baxılan göstəricilərin qiymətlərinin artmasını şərtləndirir.

Növbəti mərhələdə xlor kimi GTZM-in qəza nəticəsində atılmasının fəsadlarının proqnozlaşdırılması məqsədilə qəzadan sonra keçən vaxtların müxtəlif variasiyaları üzrə hesablamalar aparılacaqdır. Burada yenə də şərti olaraq qəbul edilir ki, qəza sıxılmış xlorun saxlanıldığı qabda baş vermiş, nəticədə burada saxlanılan kütlə tamamilə ətrafa atılmışdır. Atmosferin şaquli dayanıqlıq dərəcəsi inveriyaya uyğundur, küləyin sürəti isə 1 m/san proqnozlaşdırılır. Havanın temperaturu 20⁰C gözlənilir. Dağılmış xlor, sərbəst olaraq səth üzərinə axmış və bütün axın boyu onun qalınlığı (h) 0,05 m-təşkil edir. Xlor dibliyi olan səthə axdıqda isə onun qalınlığı belə təyin olunacaq: $h = H - 0,2$ m, burada H – dibliyin hündürlüyüdür. Xlorun dağılmasının fəsadlarının proqnozu onun zədələyici müddətinin qurtarması vaxtına hazırlanır. Bu vaxt qəbul olunur ki, işçi personalının və ya zəhərlənmə zonasında olan insanların mühafizəsi üçün heç bir tədbir görülmür. Burada qeyd etmək lazımdır ki, qəzadan dərhal sonra zəhərlənmə miqyaslarının operativ proqnozlarının hazırlanması vaxtı atılan GTZM-in miqdarı barədə konkret məlumatlar və real meteoroloji şəraitin parametrləri istifadə olunur. Bir qayda olaraq qəzadan sonra vəziyyətin proqnozlaşdırılması hadisədən 1 saat sonra və ya zəhərlənmiş havanın yayış məntəqələrinə çatması vaxtı üçün aparılır. Cədvəl 9.8-də proqnostik hesablamaların aparılması üçün lazım olan məlumatlar verilmişdir.

Bu şərtlər çərçivəsində proqnoz məsələlərinə baxaq. Əvvəlcə xlorun atılmış ekvivalent miqdarı qəzadan sonra müxtəlif müddətlər üçün hesablanır. Xlor sıxılmış vəziyyətdə olduğu üçün, qəza vaxtı onun həm birinci, həm də ikinci zəhərli buludları əmələ gəlir.

Cədvəl 9.8

Kimyəvi təhlükəli obyektə qəzanın zədələyici amilləri barədə məlumat

GTZM-in adı	Miqdarı, t	Külək (m/san, °)		Atmosferin şəqli dayanıqlıq dərəcəsi	Dibliyin hündürlüyü, m	Havanın temperaturu	Kimyəvi obyektə qədər olan məsafə, km
		Sürət, m/san	İstiqamət, dərəcə				
xlor	160	3,4	155	İnversiya	0,7	+20° C	30

Birinci buluda görə GTZM-nin ekvivalent miqdarı (9.1) düsturuna görə hesablanır:

$$Q_{ekv1} = K_1 \cdot K_3 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0 = 0,18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 160 = 28,8t$$

İkinci buluda görə GTZM-nin ekvivalent miqdarını hesablamağımızdan əvvəl xlorun buxarlanması müddəti təyin olunur. Belə ki, onun hesablanması üçün K_6 əmsalı müəyyənləşdirilməlidir və (9.6) düsturundan görüldüyü kimi, bu əmsal ya qəzadan keçən vaxtdan, ya da dağılmış xlorun tam buxarlanması müddətindən asılıdır. Bunun üçün yenə də (9.5) düsturundan istifadə olunacaq. Küləyin sürəti 3.4m/san olduğu üçün K_4 əmsalı 1,67÷2.00 intervalında olacaq. Xətti interpolasiya qaydasından istifadə edərək onun qiymətinin 1.802 olduğu müəyyənləşdirilmişdir. ρ , K_2 və K_7 -nin qiymətləri isə cədvəl 9.1-dən götürülüb.

$$T_{bux} = \frac{h \cdot \rho}{K_2 \cdot K_4 \cdot K_7} = \frac{(0.7 - 0.2) \cdot 1.558}{0.052 \cdot 1.802 \cdot 1} = 8.3 \text{ saat.}$$

İkinci buluda görə GTZM-nin ekvivalent miqdarı (9.3) düsturuna görə müxtəlif vaxt müddətləri üçün belə hesablanır:

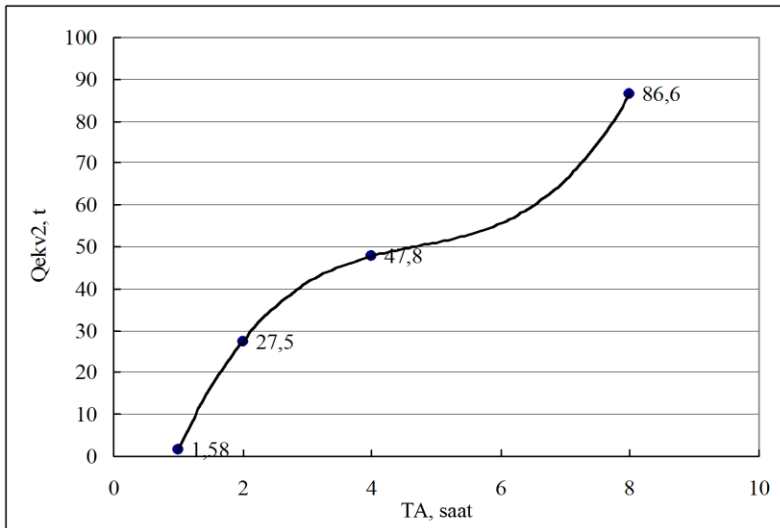
$T_A = 1$ saat olduqda:

$$Q_{ekv2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot \rho} =$$

$$= (1 - 0.18) \cdot 0.052 \cdot 1 \cdot 1.802 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{160}{(0.7 - 0.2) \cdot 1.558} = 1.58 \text{ t}$$

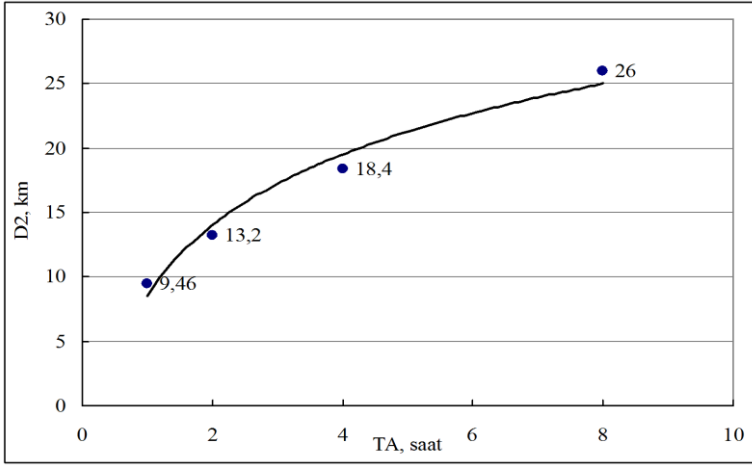
$T_A = 2, 4$ və 8 saat olduqda da analogi hesablamalar aparılmışdır. Alınan nəticələr qrafik olaraq şəkil 9.12-də təsvir olunmuşdur.

Şəkil 9.12-dən görüldüyü kimi, xlorun dağılmasından keçən müddətlərdə ikinci zəhərli buludun ekvivalent miqdarı qeyri-xətti olaraq artır.



Şəkil 9.12. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə ikinci zəhərli buludun ekvivalent miqdarı

Proqnozlaşdırmanın növbəti mərhələsində birinci bulud xlorla zəhərlənmə zonasının faktiki yayılma məsafəsi (dərinaliyi) (9.9) düsturunun köməyi ilə proqnozlaşdırılır. Bu məsafə $D_1 = 13,6$ km gözlənilir. İkinci buludla zəhərlənmə məsafələri (9.10) düsturu ilə hesablanır və 1, 2, 4 saat və buxarlanma müddəti üçün proqnozlaşdırılmasının nəticələri şəkil 9.13-də verilmişdir.



Şəkil 9.13. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə ikinci zəhərli buludun yayılma məsafələri

Bu şəkildən də görüldüyü kimi, qəzadan keçən vaxt artıqca xlorun dağılması nəticəsində ikinci zəhərli buludların yayılma məsafəsinin də artması gözlənilir və bu artım qeyri-xətti baş verəcəkdir.

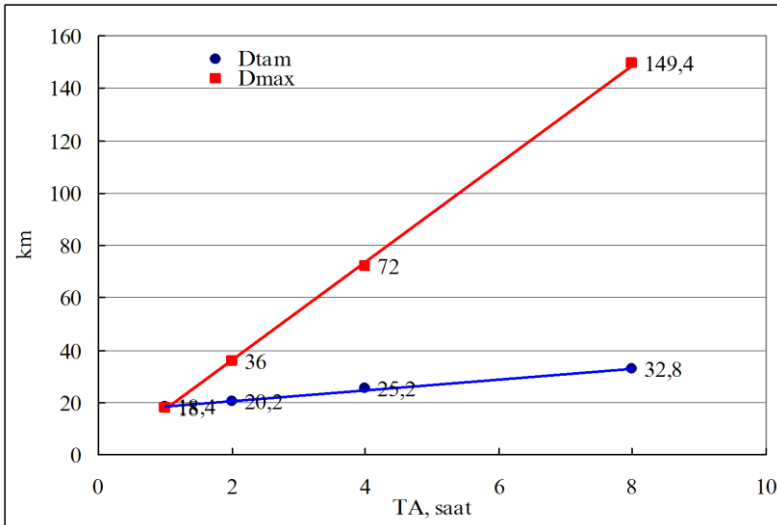
Xlorlu buludlarla zəhərlənmə zonasının tam dərinaliyi isə (9.19) düsturunun köməyi ilə proqnozlaşdırılır. Bu düsturu yenidən yazmaq məqsədə uyğun olardı.

$$D_{tam} = \max(D_1, D_2) + 0,5 \cdot \min(D_1, D_2).$$

TA=1 saat olduqda

$$\begin{aligned} D_{tam} &= \max(13.6, 9.46) + 0,5 \cdot \min(13.6, 9.46) = \\ &= 13.6 + 0.5 \cdot 9.46 = 18.4 \text{ km} \end{aligned}$$

$T_A = 2, 4$ və 8 saat olduqda da analogi hesablamalar aparılmışdır. Toksodozanın mümkün qəbul edilən qiymətlərinə görə zəhərli buxarların yayılma dərinliyi (məsafəsi) yayıla biləcək maksimal məsafədir və (9.16) düsturu ilə proqnozlaşdırılır. Bu düsturdakı V_n əmsalı küləyin sürəti 3.4 m/san olduqda cədvəl 9.8-ə görə 18 km/saata bərabər götürülür. $T_A = 1, 2, 4$ və 8 saat olan hallarda müvafiq hesablamalar aparılmışdır. Alınan nəticələr qarfiq olaraq şəkil 9.14-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 9.14. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə zəhərli buludun tam (D_{tam}) və maksimal mümkün (D_{max}) yayılma məsafələri

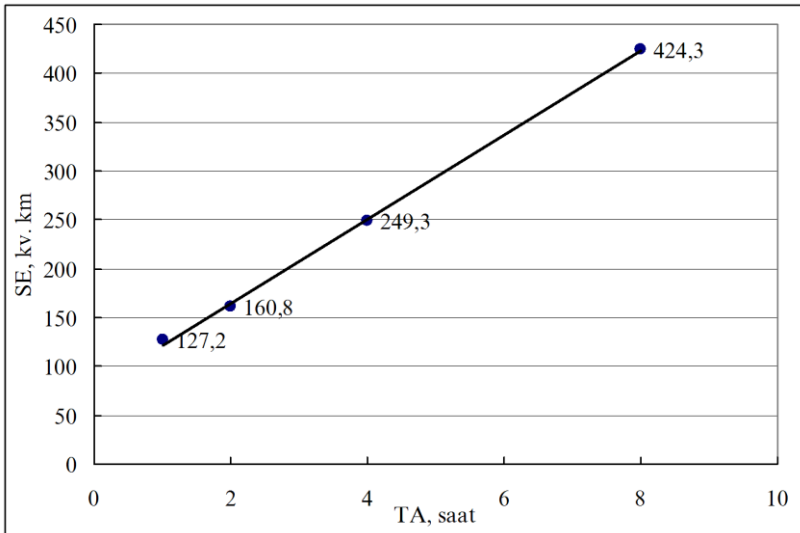
Bu şəkildən də görüldüyü kimi, qəzadan keçən vaxt artdıqca xlorun dağılması nəticəsində zəhərli buludların tam yayılma məsafəsinin də artması gözlənilir və bu artım xətti qanunlara görə baş verəcəkdir. Eyni zamanda, qəzadan keçən vaxt artdıqca xlorun dağılması nəticəsində zəhərli buludların maksimal yayılma məsafəsinin də artması gözlənilir və bu artım xətti qanunlara görə baş verəcəkdir. Hesablamalar göstərir ki,

xlorun zəhərli buludlarının hesablanmış yayılma dərinlikləri tam yayılma dərinliklərinə bərabərdir və onları da proqnostik qiymətlər kimi istifadə etmək olar.

Növbəti mərhələdə xlorun zəhərli buludlarının mümkün yayılma zonasının sahəsini proqnozlaşdırmaq. Bu sahəni (9.15) düsturuna görə hesablamaq olar. Bu düstura görə qəzadan $T_A=1$ saat keçdikdən sonra mümkün yayılma zonasının sahəsi belə hesablanacaq:

$$S_E = \frac{3.14 \cdot 18^2}{360} \cdot 45 = 127.2 \text{ km}^2.$$

$T_A = 2, 4$ və 8 saat olduqda da analoji hesablamalar aparılmışdır. Alınan nəticələr qrafiki olaraq şəkil 9.15-də təsvir olunmuşdur. Bu şəkildən də görüldüyü kimi, qəzadan keçən vaxt artdıqca xlorun dağılması nəticəsində zəhərli buludların mümkün yayılma sahəsinin artması gözlənilir və bu artım xətti qanunlar üzrə baş verəcəkdir.

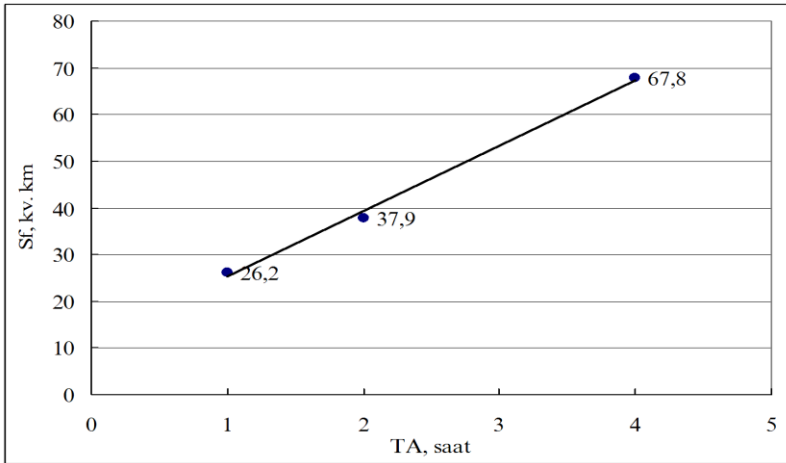


Şəkil 9.15. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə zəhərli buludun mümkün yayılma zonasının sahələri

Xlorun zəhərli buludlarının faktiki zəhərləmə zonasının sahəsini proqnozlaşdırmaq üçün (9.15) düsturundan istifadə olunmuşdur. Bu düstura görə qəzadan $T_A=1$ saat keçdikdən sonra mümkün yayılma zonasının sahəsi belə hesablanacaq:

$$S_f = 0,081 \cdot 18^2 \cdot 1 = 26,2 \text{ km}^2.$$

$T_A = 2$ və 4 saat olduqda da analoji hesablamalar aparılmışdır. Burada qeyd etmək lazımdır ki, hesablamalar $8,3$ saat vaxtı üçün aparılmamışdır, belə ki, yuxarıda göstərdiyimiz kimi, o, 4 saatdan çoxdur və küləyin istiqamətinin və sürətinin dəyişməsi ehtimalı böyükdür. Alınan nəticələr qrafiki olaraq şəkil 9.16-da təsvir olunmuşdur. Bu şəkildən də görüldüyü kimi, qəzadan keçən vaxt artıqca xlorun dağılması nəticəsində zəhərli buludların faktiki yayılma sahəsinin artması gözlənilir və bu artım xətti qanunlar üzrə baş verəcəkdir.



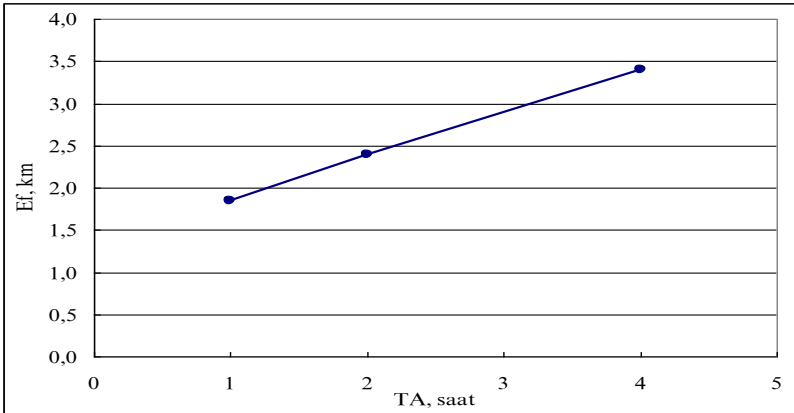
Şəkil 9.16. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə zəhərli buludun faktiki yayılma zonasının sahələri

Qəzadan keçən vaxtdan asılı olaraq xlorun dağılması nəticəsində zəhərli buludlarla faktiki zəhərlənmə zonasının eni (9.20) düsturuna əsasən proqnozlaşdırılır. Qəzadan 1 saat keç-

dikdən sonra bu zonanın faktiki eni aşağıdakı kimi hesablanacaq:

$$E_f = \frac{4 \cdot S_f}{\pi \cdot D_{hesab}} = \frac{4 \cdot 26.2}{3.14 \cdot 18} = 1.85 \text{ km}.$$

$T_A = 2$ və 4 saat olduqda da analogi hesablamalar aparılmışdır. Alınan nəticələr qrafiki olaraq şəkil 9.17-də təsvir olunmuşdur. Bu şəkildən də görüldüyü kimi, qəzadan keçən vaxt artdıqca xlorun dağılması nəticəsində zəhərli buludların faktiki yayılma zonasının eninin artması gözlənilir və bu artım xətti qanunlar üzrə görə baş verəcəkdir.

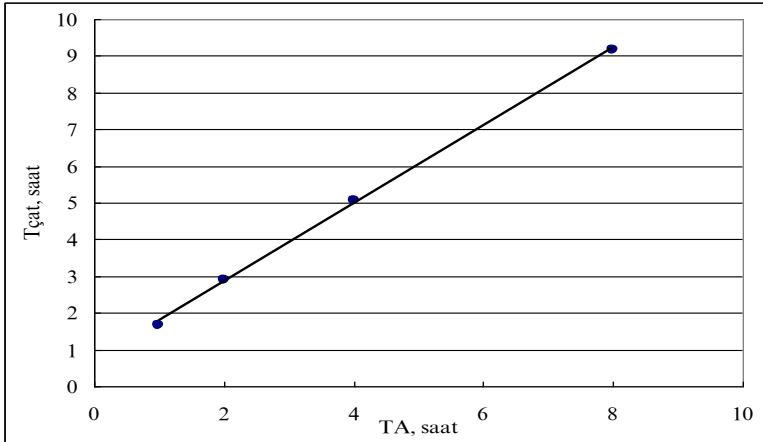


Şəkil 9.17. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə zəhərli buludun faktiki yayılma zonasının eni

Xlorla zəhərlənmiş havanın baxılan əraziyə çatacağı vaxtı ($T_{\text{çat.}}$) (9.21) düsturunun köməyi ilə proqnozlaşdırmaq olar. Yuxarıda verilən şərtlər çərçivəsində $V_n=18\text{km/saat}$, $L=30$ km-dir. $T_A=1$ saat olduqda $K_6=1.000$ qəbul olunmuşdur (bax düstur (9.6)).

$$T_{\text{çat.}} = \frac{L}{K_6 \cdot V_n} = \frac{30}{1.000 \cdot 18} = 1.67 \text{ saat}.$$

$T_A = 2, 4$ və 8 saat olduqda da analogi hesablamalar aparılmışdır. Alınan nəticələr qrafiki olaraq şəkil 9.18-də təsvir olunmuşdur. Buradan görüldüyü kimi, zəhərli buludların iqtisadiyyat obyektinə və ya yaşayış məntəqələrinə çatması vaxtı qəzanın baş verməsindən sonrakı müddətlərin artmasından asılı olaraq xətti qanunauyğunluqla artır.



Şəkil 9.18. Xlorun dağılmasından sonra keçən müddətlərdə zəhərli buludun iqtisadiyyatın obyektlərinə və ya yaşayış məntəqələrinə çatması vaxtları

Sonda xlorla kimyəvi zəhərlənmiş zonanın yayılmasının gözlənilən vaxtının proqnozunu hazırlayaq. Bunun üçün əvvəlcə

$$K_6 = \frac{Q_{32} \cdot h \cdot d}{(1 - K_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_7 \cdot Q_0} = \frac{70,292 \cdot 0,5 \cdot 1,558}{0,82 \cdot 0,052 \cdot 1 \cdot 1,808 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 160} = 4,44$$

(9.6) düsturundan K_6 -nı təyin edək:

Onda T_A üçün yazı bilərik: $T_A = K_6 \cdot 1,25$. Beləliklə, kimyəvi zəhərlənmiş zonanın yayılmasının gözlənilən vaxtı bərabərdir: $T_A = 4,44 \cdot 1,25 = 6,45$ saat.

X FƏSİL. ƏTRAF MÜHİTİN ÇİRKƏNLMƏSİNDƏN YARANAN İQTİSADİ ZİYANLARIN RİYAZİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

10.1. Ekoloji təsirlərin və zərərlərin qiymətləndirilməsi meyarları və üsulları

Müasir dövrdə ətraf mühitə vurulan iqtisadi ziyanların üç növü seçilir: *faktiki, mümkün və qarşısı alınmış ziyanlar*.

Faktiki ziyan (Y_f) – ətraf mühitin çirklənməsi nəticəsində iqtisadiyyata vurulan faktiki itkilərdir.

Mümkün ziyan (Y_m) – müvafiq təbiəti mühafizə tədbirlərinin görülməməsi halında iqtisadiyyata vurula bilən ziyandır. Bu ziyanın miqdarı istehsalın miqyasından və ictimai əməyin məhsuldarlığından, həm də çirkləndirilən rayonun strukturunun dəyişməsindən asılıdır.

Qarşısı alınmış ziyan (Y_{qa}) – təbiəti mühafizə tədbirlərinin həyata keçirilməsi nəticəsində iqtisadiyyata vurula bilinən itkilərin azaldılmasıdır. Bu ziyan mümkün və faktiki ziyan arasındakı fərqə bərabərdir.

Cəmi ekoloji-iqtisadi ziyana üç əsas komponent daxildir:

- **insanların sağlamlığına və həyatına ziyanlar** - ətraf mühitin çirklənməsi şəraitində əhəlinin xəstələnməsinin və ölüm halının artması, əmək fəallığı müddətinin qısalması və əməyin məhsuldarlığının aşağı düşməsi ilə şərtləndirilir;

- **ayrı-ayrı təbii ehtiyatlara və bütün ekoloji sistemlərə**, həmçinin təbii ehtiyatları əsas istehsal amili kimi istifadə edən iqtisadiyyat sahələrinə (kənd, meşə, balıqçılıq təsərrüfatları) vurulan ziyanlar;

- **maddi ziyanlar** -ətraf mühitin çirklənməsi səbəbindən maddi sferada istifadə olunan maddi obyektlərə dəyən ziyanlar (məsələn, qurğu və binaların korroziya nəticəsində vaxtından əvvəl sıradan çıxması və s.).

Özünü göstərmə xarakterinə görə ətraf mühitin çirklənməsindən yaranan iqtisadi ziyanın aşağıdakı növləri seçilir: -iq-

tisadi (məsələn, məhsulun az alınmasından yaranan ziyanlar); -sosial-iqtisadi (məsələn, iqtisadi fəal əhali arasında xəstəliklərin artması); -sosial (məsələn, insanın ömrünün azalması); -ekoloji (məsələn, bioloji növün itməsi).

Iqtisadi ziyanın qiymətləndirilməsi *birbaşa hesablama üsulu* ilə aparıla bilər, onun əsasını isə ziyanlı tullantıların təsirinə məruz qalmış bütün obyektlərin ziyanlarının cəmi təşkil edir. Hesablamaların əsasında aşağıdakı ardıcılıq yerləşir: 1) yaranma mənbələrindən atılan zərərli qarışıqlar; 2) zərərli qarışıqların atmosferdə (sütutarda) konsentrasiyası; 3) natural ziyan; 4) iqtisadi ziyan. Bu üsul iqtisadi ziyanların qiymətləri barədə ən etibarlı məlumat almağa imkan verir. Lakin, ondan istifadə olunması çətindir, belə ki, ətraf mühitin dəyişməsinə xarakterizə edən göstəricilər barədə detallaşdırılmış məlumat lazımdır. Bu üsulun əsasını aşağıdakı düstur təşkil edir:

$$U = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i, \quad (10.1)$$

burada x_i – i -amilinin natural dəyişməsi; p_i – onun pul ifadəsidir.

Bu vaxt hesablamaların *birinci mərhələsi* tullantı həcmlərinin və strukturunun təhlilini nəzərdə tutur.

İkinci mərhələdə tullantıların konsentrasiyasını müəyyən etmək üçün zərərli qarışıqların səpələnməsinin hesablanması aparılır. Belə ki, atmosfərə tullantılar üçün bunlar nəzərə alınır: yerləşmə xüsusiyyəti, borunun hündürlüyü, hava şəraiti, relyef və s.

Üçüncü mərhələdə (ən mürəkkəblərdən biri) zərərli qarışıqların konsentrasiyasını nəzərə almaqla, ətraf mühitin çirklənməsindən natural ziyan hesablanır (həyat keyfiyyətinin pisləşməsi, istehsal prosesinin göstəricilərinin pisləşməsi). Natural ziyanın kəmiyyətə qiymətləndirilməsi üçün bir neçə üsuldan istifadə olunur: 1) nəzarət (çirklənmiş) və çirklənməmiş rayonlarda obyektin vəziyyətinin *tutuşdurulması üsulu*. Lazımı şərt – hər iki rayon üzrə xarakteristikalar təxminən eyni olmalıdır; 2) *empirik asılılıq üsulu*, mühiti çirkləndirən amilin obyektin

vəziyyətinin öyrənilən göstəricisinə təsiri barədə faktiki məlumatlara əsaslanmışdır. Empirik məlumatlar əsasında zərərli maddələrin konsentrasiyası ilə natural göstəricilər arasında funksional əlaqələr qurulur; 3) *xüsusi göstəricilər üsulu*. Xüsusi effektlər (məsələn, vahidə düşən tullantıların həcmnin azalmasından) xüsusi göstəricilərdir. Hesablamanın effekti təbiəti mühafizə tədbirlərinin yayıldığı biosfer elementindən asılı olaraq dəyişir.

Dördüncü mərhələ: natural dəyişmələri pul ifadəsi ilə qiymətləndirmək üçün müvafiq üsullardan istifadə olunur.

Beləliklə, çirklənməyə görə ödənişlərin əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, müəssisələrin sərbəst olaraq təbiəti mühafizə tədbirlərini və onların həyata keçirilməsi üçün vəsaitlərin toplanmasını stimullaşdıracaq.

10.2. Çirklənməyə görə ödənişlərin miqdarının müəyyənləşdirilməsinin əsasları

Çirklənməyə görə ödənişin həcmi *vurulmuş ziyanın kompensasiyası prinsipinə* əsaslanır. Praktikada bir qayda olaraq ətraf mühitin bu göstəricilərinə oriyentasiya edilir: ayrı-ayrı çirkləndiricilərin mümkün yol verilən konsentrasiyaları (*MYVK*) və çirklənmənin yol verilən səviyyəsi kimi, onun əsasında hesablanmış mümkün yol verilən tullantıları (*MYVT*). Buna görə də *MYVT* kəmiyyətinə əməl etməklə ətraf mühitə təsir vaxtı tullantıya görə ödəniş ən son təbiəti mühafizə xərclərinə müvafiq olmalıdır. Ətraf mühitin çirklənməsinin iqtisadi optimumuna müvafiq olaraq göstərmək olar ki, əgər tullantının həcmi *MYVT*-dən azdırsa, onda çirkləndiricilərdən təmizləmə onun çirklənməsinə ödənişlərdən sərfəli (ucuz) olacaq və əksinə.

Ümumi formada isə ekoloji ödənişlərin hesablanmasını belə təsvir etmək olar: **çirklənmə üzrə yekun ödəniş cəmi = normativ ödəniş + limit ödəniş + limitdən artıq ödəniş.** burada, *-normativ ödəniş* = çirklənmənin faktiki həcmi x ödəniş tarifi; *-limit ödəniş* = (çirklənmənin faktiki həcmi – maksimal yol

verilən çirklənmə həcmi) x ödəniş tarifi; -limitdən artıq ödəniş = (çirklənmənin faktiki həcmi – müəyyənləşdirilmiş limit) x ödəniş tarifi x 5; -ödəniş tarifi – ekoloji əmsala vurulmuş müvafiq normativ ödəniş.

Normativ ödəniş dedikdə çirklənmədən yaranan illik xüsusi iqtisadi ziyanın bir hissəsi başa düşülür. Bu ödəniş çirkləndirici maddələrin tullantılarının resipiyentlərə təsirinin qarşısının alınmasına və çirklənmənin yol verilən səviyyəsinə çatdırılmasına sərf olunan xərclərin ödənilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Ödənişlərin baza normativləri tullantıların mümkün olan həddlərində xüsusi iqtisadi ziyanın və təbii mühit və əhalinin sağlamlığı üçün konkret çirkləndirici maddənin nisbi təhlükəlilik göstəricilərinin hasilinə bərabərdir. Nisbi təhlükəlilik göstəriciləri vahidin çirkləndirici maddənin mümkün yol verilən konsentrasiyasının nisbətində bərabərdir. Keçmiş SSRİ məkanında atmosfer üçün bu normativlər 217 çirkləndirici növlər, səthi və yeraltı sular üçün 198 çirkləndirici növlər üçün müəyyənləşdirilmişdir.

Birbaşa hesablama üsulu ilə müəyyən olunmuş mümkün yol verilən normativləri aşmayan ödənişlərin həcmi belə hesablanır:

$$P_m = \sum_{i=1}^m P_i \cdot V_i, \quad (10.2)$$

burada P_i – müvafiq ödəniş tarifi; V_i – çirklənmənin miqdarıdır.

Çirkləndirici maddələrin limitdən artıq atılmasına (tullanmasına) görə ödəniş belə hesablanır:

$$P_m = \sum_{i=1}^m P_i \cdot V_i + 5 \cdot P_i \cdot (V_i - V_{iH}) \quad (10.3)$$

burada P_i – i -növlü çirkləndiricinin tullantısına görə ödəniş tarifi; V_i – i -növlü çirkləndiricinin tullantısının faktiki həcmi; V_{iH} – i -növlü çirkləndiricinin tullantısının normativ həcmi; m – çirkləndirici maddələrin sayıdır.

Bütün tullantılara görə cəmi ödəniş:

$$P_m = k \cdot \sum_{i=1}^m P_i \cdot V_i + 5 \cdot P_i \cdot (V_i - V_{iH}) + k \cdot \sum_{i=1}^m P_i \cdot V_i, \quad (10.4)$$

burada k – ərazinin regional xüsusiyyətlərini nəzərə alan əmsaldır.

Müəyyən hallarda “monoçirkləndiriciyə” görə hesablama üsulundan da istifadə olunur:

$$U = k \cdot G \cdot \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i, \quad (10.5)$$

burada k – tullantı vahidlərinin pul qiyməti; G – zərərli təsirə məruz qalan ərazinin regional xüsusiyyətlərini nəzərə alan əmsal; A_i – müxtəlif qarışıqları aqreqasiya halına (“monoçirkləndiriciyə”) gətirmə əmsalı; m_i – i - növ çirkləndiricinin tullantısının həcmidir.

Hesablamanın ardıcılığı belədir:

1) atmosfərə və ya sūtutara atılan bütün zərərli tullantıların onların təhlükəlilik dərəcəsinin müqayisəli analizi əsasında “monoçirkləndiriciyə” gətirilməsi (A_1 əmsalı həm də i -növ çirkləndiricinin nisbi təhlükəliliyini xarakterizə edir və onun qiymətləri metodiki cədvəllərdə verilir);

2) ətraf mühitin çirklənməsinin ümumi səviyyəsini xarakterizə edən tullantıların şərti kütləsinin $\sum A_i m_i$ hesablanması tullantı həcmələrinin hər bir çirkləndiriciyə gətirilməsinin çəki əmsallarının hasillərinin cəmləməsi yolu ilə həyata keçirilir;

3) konkret ərazinin xüsusiyyətlərinin G əmsalı vasitəsilə nəzərə alınması müəyyən regionların çirklənməyə reaksiyasını nəzərə almağa imkan verir. Onun qiymətləri metodiki cədvəllərdə verilir;

4) gətirilmiş tullantılardan ziyanların pul ilə qiymətləndirilməsinin k əmsalının köməyi ilə hesablanması (metodiki cəhətdən atmosfərə və su obyektlərinə tullantılar üçün işlənmişdir).

Bu üsulun üstünlüyü hesablamaların nisbətən sadəliyi, çatışmazlığı isə nəticələrin kifayət qədər dəqiq olmamasıdır.

Tək bir tullantı mənbəsindən atılan çirkləndiricilərdən yaranan illik iqtisadi ziyan (manat/il) isə belə hesablanır:

$$U = U_A \cdot \alpha + U_B \cdot \beta + U_Z \cdot \lambda + U_H \cdot \eta, \quad (10.6)$$

burada U_A – atmosfer havasının çirklənməsindən yaranan xüsusi iqtisadi ziyan; U_B – su obyektlərinin çirklənməsindən yaranan xüsusi iqtisadi ziyan; U_Z – torpaq ehtiyatlarının çirklənməsindən yaranan xüsusi iqtisadi ziyan; U_H – yeraltı məkanın pozulmasından və çirklənməsindən yaranan xüsusi iqtisadi ziyan; $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ – düzəliş əmsallarıdır.

10.3. Atmosfer havasının antropogen çirklənməsindən yaranan iqtisadi ziyanın modelləri

Atmosfer havasına çirkləndiricilərin illik tullantılarının vurduğu iqtisadi ziyan iriləşdirilmiş hesab üsulu ilə belə təyin olunur:

$$Y_{am} = Y_{XZ} \cdot K_f \cdot \sigma \cdot F \cdot M, \quad (10.7)$$

burada Y_{XZ} – tullantı vahidinin pul qiyməti (bir şərti ton çirkləndirici maddənin atmosferi çirkləndirməsindən yaranan xüsusi iqtisadi ziyandır), manat/(şərti ton); K_f – baxılan dövr üçün sənayenin sahələri üzrə indeks-defilyator, xüsusi iqtisadi ziyanın baxılan dövrün qiymətlərinə gətirilməsi üçün istifadə olunur; σ – nisbi təhlükəlilik əmsalı, zərərli təsirə məruz qalan ərazinin regional xüsusiyyətlərini nəzərə alır və ölçüsüz kəmiyyətdir (iqtisadi ziyanın kəmiyyəti həm də zərərli təsiri öz üzərində hiss edən resipiyentlərin xarakterindən asılıdır (buna görə də eyni kütləyə malik çirkləndirici maddənin iqtisadi ziyanı əhalinin çox və az yaşadığı ərazilərdə kəskin fərqlənəcək: qəbul olunmuş metodikalar əsasən kurort və qoruq zonaları üçün $\sigma=10$, şəhər-ətrafi zona və istirahət zonaları üçün –8, meşələr üçün – 0,2-0,0025, sənaye müəssisələri üçün – 4); f – qarışıqın atmosferdə səpələnməsi xarakterini nəzərə alan ölçüsüz əmsal (məsələn, qızmar tullantılar və hündür mənbələrdən atılan çirk-

ləndiricilərin təsiri nisbətən az olur). Müxtəlif növlü mənəbələr üçün $f=2$, avtonəqliyyatdan atılan üçün $f=5$; M – mənəbədən illik atılan çirkləndiricinin gətirilmiş kütləsidir, (şərti ton/il).

Nisbi təhlükəlilik əmsalı σ belə təyin olunur:

$$\sigma = \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{S} \cdot \sigma_i, \quad (10.8)$$

burada S_i – fəal çirklənmə zonasının i -hissəsinin sahəsi; S – metodikaya əsasən təyin olunmuş fəal çirklənmə zonasının sahəsi, ha; N – fəal çirklənmə zonasına düşmüş ərazilərin ümumi sayıdır.

M belə təyin olunur:

$$M = \sum_{i=1}^K A_i \cdot m_i, \quad (10.9)$$

burada i – çirkləndirici maddənin növü, $i = 1, \dots, K$; m_i – i -növlü maddənin illik tullantı kütləsi, t/il; A_i – i -növ tullantının nisbi aqressivlik göstəricisi, (şərti ton/ton); K – atmosferə atılan maddələrin ümumi sayıdır.

$$A_i = \begin{cases} \frac{1q}{YVBH} \\ \alpha_i \cdot \gamma_i \cdot \beta_i \end{cases}, \quad (10.10)$$

burada α_i – insan tərəfindən udulan havada olan çirkləndiricinin nisbi təhlükəlilik göstəricisi (ölçüsüz kəmiyyət); toksik metallar və onların oksidləri üçün $\alpha_i = 5$, bütün digər maddələr üçün $=1$; γ_i – ətraf mühitin komponentlərində və qida zəncirində başlanğıc və ya ikinci çirkləndiricilərin yığılması, həmçinin, qarışıqların insan orqanizminə qeyri-inqalyasiya yolu ilə daxil olması ehtimalını nəzərə alan düzəliş əmsalı; β_i – insandan başqa digər müxtəlif resipiylərə təsiri nəzərə alan düzəliş əmsalı: atmosferə atılan və buxarlanan yüngül çirkləndiricilər üçün $\beta_i=2$; azot oksidləri, ozon üçün $\beta_i=1,5$; üzvi tozlar, qeyri-toksik metallar və

onların oksidləri üçün $\beta_i=1,2$; digər birləşmə və qarışıqlar üçün $\beta_i=1$.

γ_i belə təyin olunur:

$$\gamma_i = \left(\frac{YVK_{c.c.iSO_2} \cdot YVK_{i.z.SO_2}}{YVK_{c.c.i} \cdot YVK_{i.z.}} \right)^{1/2} = \left(\frac{0.5mq^2 / m^6}{YVK_{c.c.i} \cdot YVK_{i.z.}} \right)^{1/2}, \quad (10.11)$$

burada $YVK_{c.c.i}$ – i -növ çirkləndiricinin atmosfer havasında orta sutkalıq yol verilə bilən konsentrasiyası; $YVK_{i.z.}$ – i -növ çirkləndiricinin işçi zonasının havasında orta sutkalıq yol verilə bilən konsentrasiyasıdır; $YVK_{c.c.SO_2}$ – yaşayış məntəqəsinin havası üçün üçün $0,05 \text{ mq/m}^3$; $YVK_{i.z.SO_2}$ – işçi zonasının havası üçün 10 mq/m^3 .

Stasionar çirklənmə mənbələrindən atmosfərə atılan zərərli maddələrin vurduğu iqtisadi ziyanın modeli. Stasionar çirklənmə mənbələrindən atmosfərə atılan zərərli maddələrin vurduğu iqtisadi ziyanı üç tərkib hissəyə bölmək olar: 1) yol verilə bilən maddələr həddinə görə ödəniş; 2) limitdən artıq atılmaya görə ödəniş; 3) çirklənməyə görə ümumi ödənişdir.

Modeli aşağıdakı ardıcılıqla qurmaq mümkündür:

1) Atmosfərə YVBK-həddində çirkləndirici maddənin atılmasına görə ödənişin miqdarını aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$\ddot{O}_{nam} = \sum_{i=1}^n H_{bni \text{ atm}} \cdot K_{e \text{ atm}} \cdot M_{i \text{ atm}}, \quad M_{i \text{ atm}} < M_{Hi \text{ atm}}, \quad (10.12)$$

burada i – çirkləndirici maddənin növü ($i=1, 2, 3, \dots, n$); \ddot{O}_{nam} – tullantıların yol verilə bilən normativindən artıq olmayan çirkləndirici maddəyə görə ödənişlərin miqdarı, manat/il; $K_{e \text{ atm}}$ – baxılan regionda ekoloji vəziyyət və atmosfer havasının ekoloji əhəmiyyətli əmsalı; $M_{i \text{ atm}}$ – i -növ çirkləndirici maddənin faktiki atılmış miqdarı, t/il; $H_{bni \text{ atm}}$ – yol verilə bilən tullantı normativlərindən artıq olmayan 1 t i -növ çirkləndirici maddəyə görə ödənişin baza normativi; $M_{Hi \text{ atm}}$ – i -növ çirkləndirici maddənin yol verilə bilən miqdarıdır, t/il.

2) Limitdən artıq çirkləndirici maddələrin atılmasına görə ödənişin miqdarı ($\dot{O}_{la\ atm}$) belə təyin edilir:

$$\dot{O}_{la\ atm} = 5 \cdot \sum_{i=1}^n H_{bni\ atm} \cdot K_{e\ atm} \cdot (M_{i\ atm} - M_{li\ atm}), \quad (10.13)$$

$$M_{i\ atm} < M_{li\ atm},$$

3) (10.13) və (10.14) düsturlarındakı şərtlər ödənilmədikdə müəyyənləşdirilmiş limit çərçivəsində zərərli maddələrin atmosferə atılmasına görə ödənişlərin miqdarını (\dot{O}_{latm}) aşağıdakı düsturla təyin etmək olar:

$$\dot{O}_{latm} = \sum_{i=1}^n H_{bli\ atm} \cdot K_{e\ atm} \cdot (M_{li\ atm} - M_{ni\ atm}), \quad (10.14)$$

burada $H_{bli\ atm}$ – müəyyənləşdirilmiş atılma limiti çərçivəsində 1 t i-növ çirkləndiricinin atılmasına görə ödənişin baza normativi, manat/t; $M_{li\ atm}$ – i-növ çirkləndirici maddənin müvəqqəti razılaşdırılmış atılmasıdır, t/il.

4) Atmosfer havasının çirklənməsinə görə ümumi ödənişin həcmi (\dot{O}_{atm}) belə təyin olunur:

$$\dot{O}_{atm} = \dot{O}_{natm} + \dot{O}_{latm} + \dot{O}_{la\ atm}. \quad (10.15)$$

Model vasitəsilə hesablama nümunəsi. Tutaq ki, müəyyən iqtisadi zonada yerləşmiş metallurjiya kombinatı ($k_{iatm}=2.0$) il ərzində atmosferə aşağıdakı miqdarda çirkləndirici maddə atıb: azot iki oksid – 150 t (yol verilə bilən maddə miqdarı 120 t, atmosfer havasını çirkləndirməsinə görə ödənişin baza normativi təşkil edir: YVBM həddində - 13,4 manat/ton, limitdən artıq atılmaya görə ödəniş – 67,2 manat/t); fenol – 12 t (yol verilə bilən maddə miqdarı 16 t, atmosfer havasını çirkləndirməsinə görə ödənişin baza normativi təşkil edir: YVBM həddində - 178,2 manat/ton, limitdən artıq atılmaya görə ödəniş – 891,0 manat/t).

(10.13) düsturuna görə almaq olar:

$$\dot{O}_{natm} = 13,4 \times 2,0 \times 20 + 178,2 \times 2,0 \times 12 = 4812,8 \text{ manat / il.}$$

(10.15) düsuruna görə almaq olar:

$$\ddot{O}_{la\ atm} = 5 \times 67,2 \times 2,0 \times (150-120) = 20160,0 \text{ manat/il.}$$

Yuxarıda alınmış ödəniş həcmələrini (10.15) düsturunda yerinə qoymaqla, almaq olar:

$$\ddot{O}_{atm} = 4812,8 + 20160,0 = 24972,8 \text{ manat/il.}$$

Ödənişin strukturu isə belə olacaq: 1) $\ddot{O}_{atm}=100\%$; 2) $\ddot{O}_{natm}=19,27\%$; $\ddot{O}_{1\ atm}=0,00\%$; $\ddot{O}_{la\ atm} = 80,73\%$.

Qeyri-stasionar çirklənmə mənbələrindən atmosferə atılan zərərli maddələrin vurduğu iqtisadi ziyanların riyazi modeli. Qeyri-stasionar çirklənmə mənbələrindən atmosferə atılan zərərli maddələrin vurduğu iqtisadi ziyanların riyazi modelini aşağıdakı ardıcılıqla hazırlamaq olar.

1) Hərəkətdə olan mənbələrdən zərərli maddələrin yol verilən həddə atmosferə atılmasına görə ödənişin miqdarı (\ddot{O}_{neql}) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\ddot{O}_{n\ neql.} = \sum_{e=1}^m Y_e \cdot T_e, \quad (10.16)$$

burada e – yanacaq növü ($e=1, 2, 3, \dots, m$); Y_e - 1 t e -növlü yanacaqdan istifadə vaxtı əmələ gələn zərərli maddələrin yol verilən həddə atılmasına görə xüsusi ödəniş (məsələn, 0,81 manat/t); T_e - hesabat dövründə hərəkətdə olan mənbə tərəfindən sərf olunan e -növlü yanacağın miqdarıdır (məsələn, 80 t/il).

Qeyd etmək lazımdır ki, sərf olunmuş yanacaq barədə məlumat olmadıqda hərəkətdə olan mənbələrdən atılan çirkləndirici maddələrə görə ödəniş gözlənilən şəraitdən və onların istismar ərazisindən (ortaillik gediş yolu, yanacaq sərfi və s.) asılı olaraq nəqliyyat vasitələrinin növünə görə təyin edilir. Nümunə kimi, Rusiya ərazisində istifadə olunan normativ sənədlərə görə illik ödənişlərin miqdarı cədvəl 10.1-də verilmişdir.

Nümunə kimi (10.17) düsturunun şərtləri çərçivəsində yazmaq olar:

$$\ddot{O}_{neql} = 25 \times 2,6 = 65,0 \text{ manat/il.}$$

Cədvəl 10.1

**Bir nəqliyyat növünə düşən illik ödəniş, manat/il
(rublla manatın kursu belə götürülmüşdür:
100 rubl = 3,24 manat, 31.01.2017)**

№№	Nəqliyyat növü	İllik ödəniş, manat/il
1	Yüngül avtomobil	87.5
2	Benzinlə işləyən yük avtomobili və avtobus	45.4
3	Qaz yanacağı ilə işləyən avtomobil	129.6
4	Dizel yanacağı ilə işləyən yük avtomobili və avtobus	81.0
5	Yol-tükinti və kənd təsərrüfatı texnikası	16.2
6	Sərnişin teplovozu (qatarı apararı)	524.9
7	Yük teplovozu (qatarı apararı)	693.4
8	Manevr edən teplovoz	81.0
9	Sərnişin gəmisi	486.0
10	Yük gəmisi	648.0
11	Köməkçi donanma	194.4

2) Hərəkətdə olan mənbələrdən atmosfərə yol verilən həddən artıq çirkləndirici maddənin atılmasına görə ödənişin miqdarı ($\ddot{O}_{sn\ neql.}$) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\ddot{O}_{sn\ neql} = 5 \cdot \sum_{j=1}^p \ddot{O}_{nj\ neql} \cdot d_j, \quad (10.17)$$

burada j – nəqliyyat vasitəsinin növü ($j=1, 2, 3, p$); $\ddot{O}_{nj\ neql.}$ – j -növlü nəqliyyat vasitəsindən zərərli maddələrin atmosfərə yol verilən həddən artıq atılmasına görə ödənişin miqdarı (məsələn, 64,8 manat/il); d_j – standartlara uyğun gəlməyən j -növlü nəqliyyat vasitələrinin ümumi sayda payıdır (məsələn, 0.25).

Bu düsturdakı şərtə görə yazmaq olar:

$$\ddot{O}_{sn\ neql.} = 5 \cdot 64,8 \cdot 0,25 = 81 \text{ manat/il.}$$

3) Hərəkətdə olan mənbələrdən atmosfərə atılmış çirkləndirici maddələrə görə ümumi ödənişin miqdarı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\ddot{O}_{neql.} = (\ddot{O}_{nneql} + \ddot{O}_{sn\ neql.}) \cdot K_{eatm} \quad (10.18)$$

burada K_{eatm} – baxılan regionda ekoloji vəziyyətin və ekoloji əhəmiyyətliyin əmsalındır (məsələn, 2.28).

Yuxarıda verilmiş şərtlər çərçivəsində yazmaq olar:

$$\dot{O}_{neql.} = (64,8 + 81,0) \cdot 2,28 = 332,4 \text{ manat/il.}$$

Atmosfer havasının çirklənməsinin qarşısının alınması vaxtı yarana bilən ziyanın hesablanması modelini. Təbiəti mühafizə təşkilatlarının fəaliyyəti nəticəsində qarşısı alınmış ziyanların kəmiyyəti belə hesablanı bilər:

$$Y_{pr} = Y_x \cdot \Delta M_{pr} \cdot K_e, \quad (10.19)$$

burada $Y_x - 1$ t şərti tullantının qarşısı alınmış ziyanın pulla ifadəsi, manat/1t; ΔM_{pr} – regionda çirkləndirici maddələrin azaldılmış (qarşısı alınmış) gətirilmiş kütləsi, şərti ton; K_e – regional əmsalındır.

ΔM_{pr} - aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\Delta M_{pr} = \sum_{i=1}^N \Delta m_{inp} \cdot K_{ei}, \quad (10.20)$$

burada Δm_{inp} – təbiəti mühafizə tədbirlərinin və atmosferin mühafizəsi tədbirlərinin həyata keçirilməsi nəticəsində çirkləndirici maddənin azalmış (qarşısı alınmış) həcmi, t; K_{ei} – çirkləndirici maddələrin nisbi ekoloji-iqtisadi təhlükəlilik əmsalındır.

Δm_{inp} kəmiyyəti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\Delta m_{inp} = m_{il} + m_{iH} + m_{i2} + m_{icn}, \quad (10.21)$$

burada m_{il} – hesablama dövrünün başlanmasında (əvvəlki ilin məlumatları, t) ümumiyyətlə region üzrə *i-növ* çirkləndirici maddənin atılmış həcmi, t; m_{iH} – hesablama dövrü ərzində istismara verilmiş yeni müəssisələrdən atılmış çirkləndirici maddənin həcmi, t; m_{i2} – hesablama dövrünün sonunda (cari ilin məlumatları, t) ümumiyyətlə region üzrə *i-növ* çirkləndirici maddənin atılmış həcmi, t; m_{icn} – hesablama dövrü ərzində istehsalın azalması nəticəsində *i-növ* çirkləndirici maddənin tullantısının azaldılmış həcmidir, t.

Çirkləndirici maddələrin tullanmış həcmələri barədə ilkin məlumatlar monitorinqi həyata keçirən təşkilatlardan almaq olar. Qarşısı alınmış ziyanların hesablanması üçün lazım olan əsas ilkin məlumatlar cədvəl 10.2-də təqdim olunub.

Cədvəl 10.2

Çirkləndirici maddələrin tullanmış həcmələri barədə ilkin məlumatlar

Maddənin adı	m_{il}	m_{i2}	m_{iH}	m_{icn}	k_{ei}
Bərk maddələr					
Qeyri-üzvi toz	1912.1	1726.5	216.0	116.6	2.7
Üzvi toz	1142.9	1103.6	128.0	42.3	6.0
His (karbon)	108.8	126.1	90.0	42.1	2.7
Qaz və maye formalı					
Kükürd iki oksid	4258.3	10446.5	6200	-	20.0
Karbon oksidi	15260.0	12206.0	340.0	2120.0	0.4
Azot oksidi	32688.1	30844.0	428.0	1400.0	16.5
Karbonatlar	24744.8	19785.8	260.	3680.0	0.7
Ammonyak	2100.7	1682.6	-	218.0	28.5
Benzin	1180.9	756.0	112.0	186.0	1.2
Etilasetat	12.2	9.4	-	1.8	6.7
Aseton	77.2	66.2	-	-	28.5
Fenol	2.5	1.1	-	0.5	500.0
Uksus turşusu	15.2	13.1	-	0.8	20.0

10.4. Sututarların çirklənməsinin qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri

Sututarların çirklənməsinin riyazi model vasitəsilə qiymətləndirilməsi. Su mühitinə və ərazilərin su fonduna çirklənmədən dəyən ziyan dedikdə, su ekosistemlərinin bioməhsuldarlığının aşağı düşməsi, təbii ehtiyat kimi suyun istehlak xassələrinin pisləşməsi, suyun çirklənməsinin fəsadlarının aradan qaldırılmasına və onların keyfiyyətinin bərpa olunmasına yönəldilmiş əlavə xərclər, həm də dəyər formasında ifadə olunmuş

əhalinin sağlamlığına dəyən ziyanlar kimi maddi və maliyyə itkiləri və ziyanları (birbaşa və dolayısı) başa düşülür.

Burada nümunə kimi, çirkləndirici maddələrin su obyekt-lərinə atılması nəticəsində illik iqtisadi ziyanı belə təyin etmək olar:

$$Y_{su} = Y_{su.x} \cdot K_{sf} \cdot \sigma_k \cdot \sum_{i=1} A_i \cdot m_i, \quad (10.22)$$

burada $Y_{su.x}$ – su obyektinə bir şərti ton çirkləndirici maddənin atılmasından yaranan xüsusi iqtisadi ziyan (sorgu kitablarında verilir); K_{sf} – indeksasiya əmsalı; σ_k – regional differensasiya əmsalı (sabit kəmiyyətdir və konkret çay hövzəsinin və ya çay hissəsinin çirkləndirici maddələrin zərərli effektinin öhdəsindən gəlməsi qabiliyyəti və çirklənən su hissəsinin növü (ölçüsüz kəmiyyət) əsasında müəyyənləşdirilir; A_i – çirkli maddənin atılmasının nisbi təhlükəlilik göstəricisi; m_i – i -çirkləndiricisinin illik tullantısının fiziki kütləsidir, t/il.

A_i göstəricisi belə təyin olunur:

$$A_i = \frac{1q/m^3}{YVBH_{p/xi}}, \quad (10.23)$$

burada $YVBH_{p/xi}$ – balıqçılıq təsərrüfatı məqsədləri üçün istifadə olunan su obyektlərinin suyunda i -çirkləndiricisinin yol verilə bilən həddi, q/m^3 (məsələn, asılı maddələr üçün $A_i=0,33$, neft məhsulları üçün – 20, mis üçün – 100 və s.).

Yerüstü və yeraltı su obyektlərinə atılmış zərərli maddələrin vurduğu iqtisadi ziyanların qiymətləndirilməsinin riyazi modeli. Ödənişlərin aşağıdakı differensial tarifləri hesablanır: -yol verilən tullantı həddinə görə; -müəyyənləşdirilmiş limit həddinə görə; -limitdən artıq tullantıya görə; -çirklənməyə görə ümumi ödənişin həcmi. Bu məqsədlə aşağıdakılar təyin olunur.

1. Yerüstü və yeraltı su obyektlərinə zərərli maddələrin yol verən tullantılara görə ödənişin həcmi:

$$Y_{nsu} = \sum_{i=1}^n H_{nisu} \cdot K_{esu} \cdot M_{isu}, \quad M_{isu} \leq M_{nisu} \text{ olduqda}, \quad (10.24)$$

burada i – çirkləndirici maddə növü ($i=1, 2, 3, \dots, n$); Y_{nsu} – zərərli maddələrin yol verilən tullantısına görə ödəniş, manat/il; M_{isu} – i -növ çirkləndirici maddənin faktiki tullantısı, t/il; M_{nisu} – i -növ çirkləndirici maddənin maksimal yol verilə bilən tullantısı, t/il; H_{nisu} – i -növ çirkləndiricinin yol verilən normativ tullantıdan çox olmayan halında 1 tona görə ödənişin baza normativi, manat/t; $K_{esu}=1.33$ – səth su obyektinin ekoloji vəziyyət və ekoloji əhəmiyyətlik əmsalındır.

2. Yeriüstü və yeraltı su obyektlərinə çirkləndirici maddələrin tullantısına görə müəyyənləşdirilmiş limit həddində ödənişin həcmi:

$$Y_{lsu} = \sum_{i=1}^n H_{blisu} \cdot K_{esu} \cdot (M_{isu} - M_{nisu}),$$

$$M_{nisu} \leq M_{isu} \leq M_{lisu} \text{ olduqda,} \quad (10.25)$$

burada Y_{lsu} – zərərli maddənin müəyyən edilmiş limit həddində tullantısına görə ödəniş, manat/il; M_{lisu} – i -növ çirkləndirici maddənin müvəqqəti razılaşıdırılmış tullantısı miqdarı, t/il; H_{blisu} – i -növ çirkləndirici maddənin müəyyən edilmiş limit həddində 1 ton tullantısına görə ödənişin baza normatividir, manat/il.

3. Yeriüstü və yeraltı su obyektlərinə çirkləndirici maddələrin tullantısına görə müəyyənləşdirilmiş limitdən artıq olan ödənişin həcmidir (Y_{lasu}):

$$Y_{lasu} = 5 \cdot \sum_{i=1}^n H_{blisu} \cdot K_{esu} \cdot (M_{isu} - M_{lisu}),$$

$$M_{lisu} \leq p \cdot M_{isu} \text{ olduqda} \quad (10.26)$$

4. Yeriüstü və yeraltı su obyektlərinə çirkləndirici maddələrin tullantısına görə cəmi və ya ümumi ödənişin həcmi (Y_{su}):

$$Y_{su} = Y_{nsu} + Y_{lsu} + Y_{lasu}. \quad (10.27)$$

Hesablama nümunəsi. Tutaq ki, kimya kombinatı böyük bir çay sularına aşağıdakı miqdarda zərərli maddə atmışdır: karbon-sulfid 58 t (yol verilən tullantı 60 t; yerüstü və yeraltı su obyektlərinə çirkləndirici maddənin tullantısına görə ödənişin baza normativi: yol verilən tullantı həddində - 71,9 manat/t; müəyyənləşdirilmiş limit həddində 359,6 manat/t); fosfor birləşməsi – 90 t (yol verilən tullantı 40 t; yerüstü və yeraltı su obyektlərinə çirkləndirici maddənin tullantısına görə ödənişin baza normativi: yol verilən tullantı həddində - 1,0 manat/t; müəyyənləşdirilmiş limit həddində 4,9 manat/t).

(10.24) düsturuna görə hesablanır:

$$Y_{nsu} = 71,9 \cdot 1,33 \cdot 58 + 1,0 \cdot 1,33 \cdot 40 = 5599,6 \text{ (manat/il)}$$

(10.25) düsturuna görə hesablanır:

$$Y_{lsu} = 4,9 \cdot 1,33 \cdot (60 - 40) = 130,4 \text{ (manat/il)}$$

(10.26) düsturuna görə hesablanır:

$$Y_{lasu} = 5 \cdot 4,9 \cdot 1,33 \cdot (90 - 60) = 977,6 \text{ (manat/il)}$$

(10.27) düsturuna görə hesablanır:

$$Y_{su} = 5599,6 + 130,4 + 977,6 = 6707,6 \text{ (manat/il)}$$

Ödənişlərin strukturu isə belə olacaq: $Y_{su} = 100\%$; $Y_{nsu} = 83,50\%$; $Y_{lsu} = 1,94\%$; $Y_{lasu} = 14,57\%$.

Çayların səth suları ilə çirklənməsindən yaranan ziyanın iqtisadi qiymətləndirilməsi. Səth axınları ilə çayların çirklənməsinin iqtisadi ziyanının qiymətləndirilməsi aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilir.

1. Sututara səth axını vasitəsilə çirkləndirici maddələrin gətirilməsinin illik gətirilmiş kütləsi (M , şərti ton) belə hesablanır:

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i, \quad (10.28)$$

burada i – çirkləndirici maddənin növü ($i=1, 2, 3, \dots, n$); A_i – çirkləndirici maddənin nisbi təhlükəlilik göstəricisi, şərti t/t; m_i – i -növ çirkləndirici maddənin sututara atılmış illik ümumi kütləsidir, t.

2. Səth axını ilə çirkləndirici maddələrin sututarlara illik tullantısının vurduğu xüsusi ziyan (Y_x) belə hesablanır:

$$Y_x = \gamma \cdot Y_k, \quad (10.29)$$

burada γ - sututara illik tullantıdan yaranan ziyanın qiymətləndirilməsi üçün sabit kəmiyyət, 13 manat/şerti t; Y_k - su təsərrüfatı sahəsinin ekoloji vəziyyəti və ekoloji əhəmiyyətlik əmsəlidir.

3. Sututarın səth suları ilə çirklənməsinin illik ziyanının qiymətləndirilməsi aşağıdakı düsturlarla aparılır:

$$Y_{su} = \begin{cases} \gamma \cdot Y_k \cdot M \\ ve ya \\ Y_x \cdot M \end{cases}. \quad (10.30)$$

Modellə hesablama nümunəsi. Tutaq ki, müəyyən bir çay kənarında yerləşmiş yaşayış məntəqəsindən 1000 t münbit torpaq (asılı maddələr kimi) və 10 t neft məhsulları səth axını ilə çaya gətirilmişdir. Su təsərrüfatının bu hissəsinin ekoloji əhəmiyyətlik əmsəli 1,33-ə bərabərdir. Asılı maddələr üçün nisbi təhlükəlilik göstəricisi 0,05 şərti ton/ton, neft məhsulları üçün 20 şərti ton/tondur.

(10.28) düsturuna görə hesablanır:

$$M = 0,05 \cdot 1000 + 20 \cdot 10 = 250 \text{ (şerti ton)}.$$

(10.29) düsturuna görə hesablanır:

$$Y_x = 13,0 \cdot 1,33 = 17,3 \text{ (manat/şerti t)}.$$

(10.30) düsturuna görə hesablanır:

$$Y_{su} = 17,3 \cdot 250 = 4325 \text{ (manat/il)}.$$

Sututarlara çirkləndirici maddələrin atılmasının qarşısının alınması nəticəsində illik qarşısı alınmış ziyanların iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modeli. Sututarlara çirkləndirici maddələrin atılmasının qarşısının alınması nəticəsində illik qarşısı alınmış ziyanların iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modelinə çirkab sularının təmizləyici qurğularla təmizlənməsi nəticəsində iqtisadi səmərəliliyin qiymətləndirilməsi nümunəsində

baxılmışdır. Bu vaxt ziyanların qarşısının alınmasının dəyəri qiymətləndirilir.

Burada nümunə kimi, təmizləyici qurğuların tikilməsinin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi nəzərdən keçirilir. Modelləşdirmə prosesi aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilmişdir.

1. Sututara səth axını vasitəsilə gətirilməsinin qarşısı alınmış çirkləndirici maddələrin illik gətirilmiş kütləsi (M_{pr} , şərti ton) belə hesablanır:

$$M_{pr} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot m_i, \quad (10.31)$$

burada i – çirkləndirici maddənin növü ($i=1, 2, 3, \dots, n$); A_i – çirkləndirici maddənin nisbi təhlükəlilik göstəricisi, şərti t/t; m_i – i -növ çirkləndirici maddənin sututara atılmasının qarşısı alınmış illik ümumi kütləsidir, t.

2. Səth axını ilə çirkləndirici maddələrin sututarlara illik tullantısının vurduğu xüsusi ziyan (Y_x) belə hesablanır:

$$Y_x = \gamma \cdot Y_k, \quad (10.32)$$

burada γ - sututara illik tullantıdan yaranan ziyanın qiymətləndirilməsi üçün sabit kəmiyyət, 13,0 manat/şərti t; Y_k - su təsərrüfatı sahəsinin ekoloji vəziyyəti və ekoloji əhəmiyyətlik əmsəlidir.

3. Sututarlara çirkləndirici maddələrin tullantılarından illik qarşısı alınmış ziyanın və balıqçılıq təsərrüfatındakı itkilərin ləğv edilməsinin iqtisadi qiymətləndirilməsi (Y_{pr}^{su}) aşağıdakı düsturla həyata keçirilir:

$$Y_{pr}^{su} = \begin{cases} \gamma \cdot Y_k \cdot M_{pr} + Y_{pr}^{bal. tes.} \\ ve ya \\ Y_x \cdot M_{pr} + Y_{pr}^{bal. tes.} \end{cases}, \quad (10.33)$$

burada $-Y_{pr}^{bal. tes.}$ - çirkləndirici maddələrin sututarlara tullanmasından yaranan illik balıqçılıq təsərrüfatı itkiləridir.

4. Məntəqə çirkab sularının təmizləyici qurğularının tikintisinə və istismarına sərf olunana gətirilmiş xərclər (G_X) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$G_X = C + E_n K, \quad (10.34)$$

burada C – illik istismar xərcləri, manat/il; $E_n = 0,12$ – kapital qoyuluşlarının ümumi iqtisadi səmərəliliyinin normativ əmsalı; K – məntəqə təmizləyici qurğuların tikintisinə kapital qoyuluşudur, manat/il.

5. Çirkəndirici maddələrin sututarlara atılmasının qarşısı alınmasından yaranan təmiz iqtisadi səmərə aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$E_t = Y_{pr}^{bal.tes.} - G_X. \quad (10.35)$$

Modellə hesablama nümunəsi. Tutaq ki, şəhərin çirkab sularının təmizləyici qurğuları çaya atılması nəzərdə tutulan 80 min tona yaxın asılı maddələrin, 25 min ton ümumi azotun, 20 min ton səthi aktiv maddələrin, 0,05 min ton yağların qarşısını almışdır. Çayın su təsərrüfatı hissəsinin ekoloji əhəmiyyətliyi 2,3-dür. Asılı maddələr üçün nisbi təhlükəlilik göstəricisi 0,05 şərti ton/ton, ümumi azot üçün 0,10 şərti ton/ton, səthi aktiv maddələr üçün 2 şərti ton/ton, yağlar üçün 100 şərti ton/ton təşkil edir. Təmizləyici qurğuların tikintisinə kapital qoyuluşunun həcmi 8,1 mln. manatdır, onun illik istismar xərcləri 27540 manat təşkil etmişdir.

$$M_{pr} = 0,05 \cdot 80000 + 0,1 \cdot 25000 + 2 \cdot 20000 + 100 \cdot 50 = 51500 \quad (\text{şərti ton})$$

$$Y_x = 12,96 \cdot 2,3 = 29,8 \quad (\text{manat/şərti t}).$$

$$Y_{pr}^{bal.tes.} = (29,8 \cdot 51500) = 1534700 \quad \text{manat / il}.$$

$$G_X = 27540 + 0,12 \cdot 899540 = 135484,8 \quad (\text{manat/il}).$$

$$E_t = 1534700 - 135484,8 = 1399215,2 \quad (\text{manat/il}).$$

10.5. Torpaq ehtiyatlarının çirklənməsinin iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modeli

Torpaq ehtiyatlarına çirklənmədən dəyən ziyan dedikdə antropogen (texnogen) amillərin təsiri altında torpaq və qrunzun pisləşməsi və dağılması başa düşülür və torpağın tərkibinin və xassələrinin kəmiyyət və keyfiyyət pisləşməsi, kənd təsərrüfatı sahələrinin təbii-təsərrüfat əhəmiyyətliyinin aşağı düşməsi kimi ifadə olunur. Torpaqların vəziyyətinin pozulması üç növə bölünür: • deqradasiya, yəni, eroziya, şorlaşma, bataqlıqlaşma və s.; • kimyəvi maddələrlə çirklənmə; • icazəsi olmayan zibilxanalar hesabına dövrüydən çıxma. Burada hər bir növ çirklənməyə görə iqtisadi ziyanların hesablanması məsələlərinə baxılmışdır.

1. Deqradasiya və kimyəvi çirklənmə nəticəsində dəyən iqtisadi ziyan (Y_n) bu düsturla hesablanır:

$$Y_n = H_c \cdot S \cdot K_e \cdot K_n \cdot K_{ind}, \quad (10.36)$$

burada H_c – qeyri-kənd təsərrüfatı tələbatlar üçün dövrüydən çıxarılan kənd təsərrüfatı torpaqları əvəzinə yeni torpaq sahələrinin mənimsənilməsinin normativ dəyəri, manat/il; S – pozulmuş torpaqların sahəsi, ha; K_e – ərazinin ekoloji vəziyyəti və ekoloji əhəmiyyətli əmsəlidir (məsələn, Rusiyanın Şimal iqtisadi rayonu üçün 1,4-ə bərabərdir); K_n – xüsusi qorunan ərazilər üçün daxil edilir (təbii-qoruq torpaqları üçün ziyanları 3 dəfə, təbiəti mühafizə, sağlamlıq və tarixi-mədəni torpaqlar üçün 2 dəfə, rekreasiya əhəmiyyətli torpaqlar üçün isə 1,5 dəfə artırır). K_{ind} – məsələn 2012-ci il üçün - 2,05.

2. Torpaqların deqradasiyasından ziyanların iqtisadi qiymətləndirilməsi aşağıdakı düsturla aparıla bilər:

$$Y_t = H_c \cdot S \cdot K_e \cdot K_x, \quad (10.37)$$

burada H_c - torpağın normativ dəyəri, min manat/ha; S – hesabat dövründə deqradasiyaya məruz qalmış torpaqların sahəsi, ha; K_e

– ekoloji vəziyyət və ekoloji əhəmiyyətlik əmsalı; K_x – xüsusi qorunan ərazilər üçün əmsaldır (3-dən 1-ə qədər ola bilər).

3. Torpaqların kimyəvi maddələrlə çirklənməsindən dəyən ziyanın iqtisadi qiymətləndirilməsi aşağıdakı düsturla aparılır:

$$Y_t = (H_c \cdot S_i \cdot K_e \cdot K_o) \cdot K_k, \quad (10.38)$$

burada S_i – hesabat ilində i -növ kimyəvi maddə ilə çirklənmiş torpaq sahəsi; K_k – torpaqların bir neçə (n) kimyəvi maddələrlə çirklənməsi vaxtı artırıcı əmsaldır və aşağıdakı kimi hesablanır:

$$K_k = \begin{cases} 1 + 0,2 \cdot (n - 1), & n \leq 10 \text{ olduqda} \\ 3, & n > 10 \text{ olduqda} \end{cases}. \quad (10.39)$$

4. Qeyri-qanuni zibilxanalarda torpaqların zibillənməsindən dəyən ziyanın iqtisadi qiymətləndirilməsi aşağıdakı düsturla aparılır:

$$Y_t = H_c \cdot S_{uu} \cdot K_e \cdot K_x, \quad (10.40)$$

burada S_i - hesabat ilində i -növ tullantı ilə zibillənmiş torpaqların sahəsidir, ha.

5. Tullantıların torpaq sahələrində yerləşdirilməsinə görə ödənişlərin qiymətləndirilməsi halı üçün şəhərin kommunal - məişət xidməti tərəfindən tullantıların zibilxanalara atılması vaxtı müəyyən olunmuş limit çərçivəsində, limitdən artıq və ümumi ödənişlərin hesablanması aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilir.

1) Tullantıların müəyyən olunmuş limit çərçivəsində atılmasına görə ödənişlərin həcmi (Y_{itul}) aşağıdakı düsturla aparılır:

$$Y_{itul} = \sum_{i=1}^n H_{bitul} \cdot K_{eut} \cdot M_{itul}, \quad M_{itul} \leq M_{litul} \text{ olduqda}, \quad (10.41)$$

burada i – tullantı növü ($i=1, 2, 3, \dots, n$); M_{itul} – i -növ tullantının faktiki yerləşdirilməsi, t/il və ya m³/il; M_{litul} – i -növ tullantı üçün müəyyən edilmiş illik limit, t/il və ya m³/il; H_{bitul} – 1 t i -növ tullantıya müəyyən olunmuş limit çərçivəsində baza normativ

ödənişi, manat/t və ya manat/m³; K_{etul} - baxılan regionda torpaqların ekoloji vəziyyət və ekoloji əhəmiyyətlik əmsalı.

2) Tullantıların limitdən artıq atılmasına görə ödənişlərin həcmi (Y_{latul}) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Y_{latul} = 5 \cdot \sum_{i=1}^n H_{bliul} \cdot K_{etul} \cdot (M_{itul} - M_{liul}),$$

$$M_{liul} \leq M_{itul} \text{ olduqda.} \quad (10.42)$$

3) Tullantıların yerləşdirilməsinə görə ümumi ödənişin həcmi (Y_{tul}) belə təyin olunur:

$$Y_{tul} = Y_{ltul} + Y_{latul}. \quad (10.43)$$

10.6. Sosial ziyanların qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri

Müxtəlif rayonlar üçün sosial sferada çirkləndirici maddələrin yaratdığı iqtisadi ziyanın hesablanması riyazi modelidir. Son dövrlərdə müxtəlif şirkətlər tərəfindən ekoloji siyasət çərçivəsində idarəedici qərarların qəbul edilməsi üçün getdikcə daha tez-tez sosial sferada iqtisadi hesablamalar aparılır. Bir daha qeyd etmək olar ki, biosferi çirkləndirən maddələr insanların sağlamlığına mənfi təsir göstərir. Ekoloji problemlər yığıldıqca cəmiyyət və müəssisələrin özləri sosial sferada iqtisadi ziyanları azaltmaq və ya ləğv etmək üçün məqsədli vəsaitləri ayırmağa və xərcləməyə məcbur olurlar. Müxtəlif rayonlar üçün sosial sferada çirkləndirici maddələrin vurduğu ziyanları (Y_{SS}) aşağıdakı düsturun köməyi ilə hesablayırlar:

$$Y_{CC} = \sum_{i=1}^n Y_{XZ} \cdot R_i + \sum_{i=1}^n Y_{KOT} \cdot R_i + \sum_{i=1}^n Y_{KT} \cdot S_i + \sum_{i=1}^n Y_{EF} \cdot \Phi_i, \quad (10.44)$$

burada Y_{XZ} – i -nömrəli rayonda səhiyyə sahəsində xüsusi ziyan, manat/insan; R_i – i -nömrəli rayonda əhalinin sayı, adam; Y_{KOT} – i -nömrəli rayonunun kommunal təsərrüfatına dəyən xüsusi ziyan, manat/insan; Y_{KT} – i -nömrəli rayonunun kənd təsərrüfatına dəyən xüsusi ziyan, manat/ha; S_i – i -nömrəli rayonunda kənd təsərrüfatı torpaqlarının sahəsi, ha; Y_{EF} – i -nömrəli rayonun əsas

fondlarına dəyən xüsusi ziyan, manat/(1000 manat); Φ_i – i -nömrəli rayonda əsas fondların dəyəridir, min manat.

Son nəticədə, hər bir çirkəndirici üzrə ödənişlərin nəticələrini toplamaqla ümumi iqtisadi ziyanı hesablamaq olar.

Əhalinin sağlamlığına dəyən iqtisadi ziyanın hesablanması üçün riyazi modeli. Onun əsaslarını aşağıdakı yanaşmalar təşkil edir:

1) Müvəqqəti iş qabiliyyətinin itirilməsini, əlilliyi və vaxtsız ölümü xarakterizə edən indeksin hesablanması;

2) İnsanın yaşadığı mühitin amillərinin təsiri ilə şərtləndirilən əhalinin sağlamlığına dəyən müxtəlif ziyanların göstəricilərinin iqtisadi qiymətləndirilməsi.

Müvəqqəti iş qabiliyyətinin itirilməsini, əlilliyi və vaxtsız ölümü xarakterizə edən indeks DALY aşağıdakı düsturla hesablanır [Homedes N. The Disability-Adjusted Life Year (DALY) Definition, Measurement and Potential, 1996]:

$$DALY = \frac{D \cdot C \cdot \exp(-\beta \cdot a)}{(\beta + r)^2} \quad (10.45)$$

$$[(\exp((\beta + r) \cdot L) \cdot (1 + (\beta + r) \cdot (L + a)) - (1 + (\beta + r) \cdot a))],$$

burada D – faizlə ölçülən sağlamlığın itirilməsi dərəcəsi (itki olmadıqda - 0, sağlamlıq qismən itirildikdə -0.5, ölüm halında – 1); $C = 0,16243$ – sabit kəmiyyət (Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının (ÜST) ekspert qiymətləndirilməsinə əsasın alınmışdır); β – sabit kəmiyyət, %; $r=0,03$ - diskontluq dərəcəsi (3%), (həyat illərinin qiymətliliyinin indiki zamana gətirilməsi üçün ÜST tərəfindən istifadə olunur); a – sağlamlığın itirilməsinin baş verdiyi başlanğıc vaxt anı (anadan olma ilindən başlayır), il; L – sağlamlığın itirilməsinin baş verdiyi andan hesablanan qalan yaşama illərinin miqdarıdır, il; (orta gözlənilən həyat davamiyyəti ilə sağlamlığın itirilməsi anı arasındakı fərq kimi tapılır).

Model vasitəsilə hesablama nümunələri:

1) Ölüm halı 5 yaşında olmuşdur. Tutaq ki, gözlənilən yaşama (ömür) davamiyyəti 82,95 ildir, əgər insan 5 yaşında

ölersə, onda $a = 5$, $L = 82,95 - 5 = 77,95$, $D = 1$. Beləliklə, $DALY = 35,85$.

2) İnsan 5 yaşında xəstələnmiş, 10 yaşında isə vəfat etmişdir. Tutaq ki, gözlənilən yaşama (ömür) davamiyyəti 82,95 ildir, onda, əgər insan 5 yaşında xəstələnibsə və 10 yaşında vəfat edibsə, onda xəstəlik dövrü üçün $a = 5$, $L = 10 - 5 = 5$, $D = 0,5$. Beləliklə, $DALY = 2$. Əgər həmin insan yaşasaydı, onda qalan dövr üçün, yəni 10 ildən sonrakı dövr üçün müvafiq göstəricilər belə olardı: $a = 10$, $L = 82,95 - 10 = 72,95$, $D = 1$. Beləliklə, $DALY(10) = 36,85$. Bu kəmiyyət başlanğıc vaxt anına (5 yaşına) diskontlaşma hesabına, yəni alınan qiymətin $(e-r \cdot s)$ -ə vurulması yolu ilə gətirilir (burada $r = 0,03$, $s = 10 - 5 = 5$). Bu isə $DALY = 31,7$ təşkil edir. Sonra iki dövr üçün $DALY$ alınan qiymətləri cəmlənir, yəni, $DALY = 2 + 31,7 = 33,7$.

3) İnsan 5 yaşında xəstələnmiş və qalan ömrü boyu əmək qabiliyyətini itirmişdir. Tutaq ki, gözlənilən yaşama (ömür) davamiyyəti 82,95 ildir, onda, əgər insan 5 yaşından əmək qabiliyyətini həmişəlik itirib, onda xəstəlik dövrü üçün $a = 5$, $L = 82,95 - 5 = 77,95$, $D = 0,5$. Beləliklə, $DALY = 17,92$.

4) İnsan 5 yaşında xəstələnib, sonra müalicə nəticəsində 10 yaşında əmək qabiliyyətini bərpa edib. Tutaq ki, gözlənilən yaşama (ömür) davamiyyəti 82,95 ildir, onda, əgər insan 5 yaşında xəstələnibsə və 10 yaşında sağalıbsa, onda xəstəlik dövrü üçün $a = 5$, $L = 10 - 5 = 5$, $D = 0,5$. Beləliklə, $DALY = 2$. Qalan dövrdə $D = 0$. Beləliklə, $DALY = 0$.

İnsanın yaşadığı mühitin amillərinin təsiri ilə şərtləndirilən əhalinin sağlamlığına dəyən ziyanların göstəricilərinin iqtisadi qiymətləndirilməsi vaxtı, risklərin (ziyanların) xalis göstəriciləri qismində əhalinin əlavə xəstələnmə və ölüm hallarına baxılır:

$$Y_{oc}^x = \begin{cases} \sum Y_z^i + \sum Y_s^i \\ \text{ve ya} \\ \sum (\Delta Z^i \cdot C_z^i + S_i^i \cdot C_s^i) + \sum S^i \cdot C_s^i, \end{cases} \quad (10.46)$$

burada Y_z^i - ətraf mühitin çirklənməsi ilə əlaqəli olan *i-növlü* əlavə xəstələnmə (xəstələnmə riski); Y_s^i - ətraf mühitin çirklənməsi ilə əlaqəli olan *i-növlü* səbəbdən əlavə xəstələnmə (xəstələnmə riski); ΔZ_i – ayrı-ayrı formalara (*i*) görə əlavə xəstələnmə (xəstələnmə riski), hadisə/il; C_z^i - *i-növlü* xəstəliyin bir halı ilə əlaqəli olan ziyan, manat/hadisə; S_i^i - baxılan xəstəlik növündən əlavə ölüm hadisəsi ($S_i^i = Z^i L^i$, burada L_i – baxılan xəstəlik səbəbindən ölüm halı); ΔS_i – ayrı-ayrı səbəblərə (*i*) görə əlavə ölüm halı (ölüm riski), hadisə/il; C_s^i - *i-növlü* xəstəlikdən bir ölüm hadisəsi ilə əlaqəli olan ziyandır, manat/hadisə.

(10.46) tənliklər sisteminin ikinci tənliyinə daxil olan dəyişən kəmiyyətlər aşağıdakı kimi hesablanır.

C_z^i - *i-növlü* xəstəliyin bir halı ilə əlaqəli olan ziyanın hesablanması üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

$$C_z^i = C_m^i + C_c^i + C_t^i, \quad (10.47)$$

burada C_m^i -tibbi xidmətin orta dəyəri, manat/hal; C_c^i -sosial ödənişlərin orta dəyəri, manat/hal; C_t^i - tamamilə alınmamış ümumi gəlirin orta qiymətidir (büdcənin itkisinin hesablanması vaxtı –tamam alınmamış verginin orta qiyməti).

Bu vaxt əhəlinin müxtəlif yaş qrupları üçün itkilərin tərkib hissələri ya tam nəzərə alınmır, ya da qismən nəzərə alınır. Məsələn,

$$C_z^i = \begin{cases} C_m^i + \alpha \cdot C_c^i + \alpha \cdot C_t^i, & 0-18 \text{ yaş qrupu} \\ C_m^i, & 60- \text{ yaş yuxarı} \end{cases}, \quad (10.48)$$

burada α - valideynlərin nəzarəti altında müalicə olunan uşaqların ümumi sayda paydır.

C_m^i -tibbi xidmətin orta dəyəri aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$C_m^i = (\gamma^i \cdot C_{cm}^i \cdot C_{amb}^i) \cdot N^i, \quad (10.49)$$

burada C_{cm}^i -stasionar müalicə vaxtı tibbi xidmətin orta dəyəri, manat/hal; C_{amb}^i -ambulator müalicə vaxtı tibbi xidmətin orta dəyəri, manat/hal; γ_i – stasionarda tibbi xidmətin payı $\gamma^i = N_{cm}^i / N^i$; N_{cm}^i -stasionarda müalicə aparılarkən xəstəlik halının sayı (14 №-li forma); N^i - xəstəlik hallarının sayıdır (12 №-li forma).

Əmək qabiliyyəti olmayan günlərə görə sosial ödənişlərin orta dəyəri C_c^i belə hesablanır:

$$C_c^i = C_c^b \cdot \left(\sum N_b^i \cdot T_b + \sum N_d^i \cdot \delta \cdot T_b \right), \quad (10.50)$$

burada C_c^b -müvəqqəti əmək qabiliyyətinin itirilməsinə görə gündəlik ödənilmiş müavinətin cəmi, manat; N_b^i - müvəqqəti iş qabiliyyətini itirməklə *i-növlü* xəstələnmənin sayı; T_b – müvəqqəti əmək qabiliyyətinin itirilməsi səbəbindən müavinətin ödənişinin orta davamiyyəti, gün; N_d^i - uşaqlarda *i-növlü* xəstələnmə hallarının sayı; δ - valideyinlərin nəzarəti altında müalicə olunan uşaqların ümumi haldakı payıdır.

Büdcəyə dəyən ziyana C_t^i tibb müəssisələrinin maliyyələşdirilməsinə çəkilən xərclər və əhalinin xəstələnməsi dövründə iqtisadi fəal dövrün qısalması səbəbindən vergilərin tam tutulmaması daxildir və aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$C_t^i = \sum T \cdot t^i, \quad (10.51)$$

burada T – ortagünlük xüsusi ümumi gəlir (istehsal olunmamış məhsul) ($T=G/N_a$), manat·adam; G – ümumi gəlir (istehsal olunmuş məhsul), manat/gün; N_a – iqtisadi fəal əhalinin sayıdır, adam.

C_s^i - *i-növlü* xəstəlikdən əlavə bir ölüm hadisəsi ilə əlaqəli olan ziyanın hesablanması əmək qabiliyyəti yaşındakı əhalinin

təqaüd yaşına qədər yaşamadığı illərin sayının qiymətləndirilməsinə əsaslanmışdır. Təqaüd yaşına qədər yaşamadığı illərin sayı əlavə ölənlərin sayı göstəricisi nəzərə alınmaqla hesablanır:

$$C_s^i = C_n^i \cdot Q_i, \quad (10.52)$$

burada C_n^i - *i*-növlü xəstəlikdən 1 il yaşamaması səbəbindən itkilər, manat; Q_i - *i*-növlü xəstəlikdən ölən insanın yaşaya bilmədiyi illərin sayıdır.

Cinsi və yaş qrupuna görə ölüm strukturunu nəzərə almaqla yaşanmayan illərin sayının hesablanması alqoritmi aşağıdakı düsturda təqdim olunub:

$$Q_i = \sum_p \sum_i G_{ijp} \cdot S_{ijp}^d \cdot \gamma_{ijp}, \quad (10.53)$$

$$G_{ijp} = T_p - j, \quad (10.54)$$

$$\gamma_{ijp} = S_{ijp}^d / S_i, \quad (10.55)$$

burada G_{ijp} - *p*-növlü cinsin *j*-növlü yaş qrupu üçün yaşanmayan illərin sayı; γ_{ijp} - *i*-növ səbəbə görə *j*-növ yaş qrupu üçün ölüm hallarının payı; S_{ijp}^d - *p*-növ cinsin *j*-növ yaş qrupunda *i*-növ səbəbə görə əlavə ölüm hallarının sayı; S_{ijp} - *p*-növ cinsin *j*-növ yaş qrupunda *i*-növ səbəbə görə ölüm hallarının sayı; S_i - *i*-növ səbəbə görə ölüm hallarının ümumi sayı; T_p - *p*-növ cins üçün iqtisadi fəallıq yaşının yuxarı sərhədi; *j* - yaş qrupunda orta yaşdır.

Xəstə insanın iqtisadi fəal dövrünün qısalması səbəbindən büdcəyə tam daxil olmayan itkilərin payını C_n^b hesablamaq üçün aşağıdakı düsturdan istifadə olunur:

$$C_n^b = \left(\left(W \cdot \frac{\alpha}{W} \right) + \left(\frac{P \cdot \beta}{100} \right) + \left(\frac{D \cdot \delta}{100} \right) \right) \cdot Q, \quad (10.56)$$

burada α - əlavə gəlirə vergi tarifi, %; β - mənfəətə görə vergi tarifi, %; δ - gəlir vergisinin tarifi, %; P - baxılan ərazidə tədqiq olunan populyasiyanın təsərrüfat fəaliyyətindən əldə olunan

cəmi mənfəət, manat/il; D - baxılan ərazidə tədqiq olunan populyasiyanın orta əmək haqqıdır, manat/il.

Yuxarıda göstərilən müxtəlif müddətli ziyanların, həm də gəlirlərin, xərclərin və s. cəmlənməsini və ya müqayisəsini vaxta görə cəki vuruğunu nəzərə almaqla həyata keçirmək lazımdır:

$$F(t) = \exp(-r \cdot t) \approx (1 + r)^{-t}, \quad (10.57)$$

burada t – zaman; r - diskontlaşdırma dərəcəsidir.

Bu kəmiyyət üçün dövlət reqlamenti olmadığı halda iqtisadi təhlillərin aparılması vaxtı hesablamaları r -in ildə 0-8% diapazonundakı bir neçə qiymətlərindən istifadə etmək tövsiyə olunur. Avropa Birliyi ölkələri üçün isə ildə $r=5-8\%$ istifadəsi tövsiyə olunur.

Ətraf mühitin müxtəlif səviyyədə çirklənməsi olan şəhərlərdə yaşayan əhəlinin sağlamlığına dəyən iqtisadi ziyanın hesablanması riyazi modeli. Bu modelin əsasını ətraf mühitin müxtəlif səviyyədə çirklənməsi olan şəhərlərdə yaşayan əhəlinin sağlamlığı barədə məlumatların müqayisəsi təşkil edir. Bunun üçün çirklənmə dərəcəsi daha yüksək olan şəhərdə və çirklənmə dərəcəsi norma həddində olan fon şəhərində xəstə əhəlinin müalicə olunmasına sərf olunan xərclərin miqdarı məlumatları tələb olunur. Fon şəhərindəki xəstələrin sayına nisbətən baxılan şəhər əhalisinin bütün qrupları üçün müalicəyə sərf olunan əlavə xərclər (Y_l) aşağıdakı düstur vasitəsilə hesablanıla bilər:

$$Y_l = (Z_n \cdot X_n + Z_c \cdot D_c) \cdot (P_1 - P_2) \cdot \gamma / 100, \quad (10.58)$$

burada Z_n – ambulator-poliklinik şöbəyə gəlmənin orta dəyəri, manat; Z_c – bir günlük müalicənin və stasionarda saxlanmanın orta dəyəri, manat; P_1 və P_2 – baxılan şəhər və fon şəhərində yaşayan əhəli qruplarının xəstələnməsinin ortaillik standartlaşdırılmış göstəriciləri (hər 1000 nəfərə düşən); X_n – ambulator-poliklinik şöbəyə müraciət edənlərin sayı; D_c – stasionarda mü-

alicə günlərinin sayı; γ - qiymətləndirilən qruplardakı əhalinin sayıdır.

Model vasitəsilə hesablama nümunəsi. (10.58) düsturu əsasında tədqiq olunan şəhər əhalisinin daha yüksək xəstələnmə dərəcəsi səbəbindən dəyən iqtisadi ziyanın qiymətləndirilməsi məqsədilə müəyyən dövr üçün (məsələn, 1997-2001-ci illər üzrə) orta qiymət kimi hesablanmış aşağıdakı iqtisadi və tibbi-sosial göstəricilərin müvafiq qiymətləri verilmişdir:

$Z_n = 0,78$ manat; $Z_c = 6,06$ manat; yeniyetmə və yaşa dolmuş əhali üçün $X_n = 3.76$, uşaqlar üçün $X_n = 3.72$; qiymətləndirilən qruplardakı əhalinin sayı (γ): yaşa dolmuş əhalinin sayı $\gamma = 210872$ nəfər, yeniyetmələrin (15-17 yaş) sayı $\gamma = 13145$ nəfər, uşaqların (0-14 yaş) sayı $\gamma = 51249$ nəfər; D_c , P_1 və P_2 məlumatlarını şəhər səhiyyə təşkilatlarından almaq olar.

Model vasitəsilə aparılan hesablamaların nəticələri göstərir ki, ətraf mühitin daha çox çirklənməsi ilə şərtləndirilən daha yüksək xəstələnmə halları müşahidə olunan şəhərdə ümumi iqtisadi ziyan yaşa dolmuş əhali qrupu üçün orta hesabla ildə 3353400 manat, yeniyetmələr üçün 155520 manat, uşaqlar üçün 1053000 manat təşkil etmişdir.

Beləliklə, ancaq ətraf mühitin çirklənməsi ilə şərtləndirilən daha yüksək xəstələnmə dərəcəsi səbəbindən bütün əhali qrupları üçün ümumi iqtisadi ziyan $3353400 + 155520 + 1053000 = 4421920$ (manat) təşkil etmişdir.

Şəhərlərin sənaye müəssisələrinin əhalinin sağlamlığına zərərli təsirinin ən əlverişsiz fəsadı təbii ki, ölüm halları səviyyəsinin daha yüksək olmasıdır.

Həyatın əmək qabiliyyətinə qədər olan dövrdə və əmək qabiliyyəti dövründə vaxtsız ölüm səbəbindən itkilərin sayı ($Y_{ölüm}$) aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$Y_{ölüm} = \begin{cases} \left[40 \cdot \left(H + V \cdot \frac{b}{B} \right) \right] \cdot \frac{(C_1 - C_2) \cdot \gamma}{1000}, & U\ddot{O}H\ddot{U} \\ \left[40 \cdot H - \left[(H + V) \cdot a - 40 \cdot V \cdot \frac{a}{B} \right] \right] \cdot \frac{(C_1 - C_2) \cdot \gamma}{1000}, & YD\ddot{O}H\ddot{U} \end{cases} \quad (10.59)$$

Burada UÖHÜ-uşaq ölüm halı üçün; YDÖHÜ- yaşa dolmuş ölüm halı üçün; 40 (il) – əmək qabiliyyətli dövrün orta davamiyyəti; H – bir işçi tərəfindən orta hesabla yaradılan gəlirin hissəsi (vergi kimi, dövlət büdcəsinə daxil edilir), manat/il; V – cəmiyyətin hər bir üzvünə bir ildə orta hesabla düşən lazımı məhsulun payı, manat; b – ölən insanın orta yaşı, il; B – əhalinin qarşdakı həyatının orta davamiyyəti, il; C_1 və C_2 – müvafiq olaraq daha yüksək çirkləndirilmiş və fon səviyəsində olan şəhərlərdə müvafiq yaş qruplarında əhalinin ölüm göstəriciləri (hər 1000 nəfərə); γ – qiymətləndirilən qruplardakı əhalinin sayı; a – cəmiyyətin ölmüş üzvlərinin işlədikləri illərin orta sayıdır.

Yuxarıda göstərilən üsullarla müəssisə və şirkətlərin təbiəti mühafizə fəaliyyətinin bir sıra iqtisadi göstəricilərini hesablamaq olar.

10.7. Təbiəti mühafizə fəaliyyətinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri

Təbiəti mühafizə qərarlarının əsaslandırılmasında vaxt amilinin nəzərə alınması. Məlumdur ki, hər bir insan öz həyatında sərf etdiyi xərcləri və bunlardan alınan qazancını müqayisə edir. Qazanc qismində müxtəlif formalı nəticələr çıxış edə bilər. Məsələn, banka pul qoymaq, sonra isə onları əlavə gəlirlərlə (faizlə) birlikdə geri qaytarmaq olar. Beləliklə, normal iqtisadi qərar üçün ümumi qayda potensial qazancın (B) xərclərdən (C) çox olmasıdır. Təbii ki, bu fərq nə qədər çox olarsa, onda iqtisadi nöqtəyi-nəzərdən qoyulmuş xərclər o qədər uğurlu olar. Belə bir hal qısa müddət üçün özünü doğruldur. Əgər çoxillik dövrə baxılsa, onda qazancın hesablanması məsələsi xeyli çətinləşər. Belə ki, cari dövrdəki xərc və qazanclarla, gələcəkdəki xərc və qazancları tutuşdurmaq lazım gəlir. Buna görə də diskontlaşdırma amili nəzərə alınmalıdır, belə ki, o, müasir pul həcmilə gələcək pul həcmi müqayisə etməyə və “gələcək” pulları müasir vaxta gətirməyə imkan verir. Beləliklə, diskont-

laşdırılma gələcəkdəki dəyərin müasir dəyərə gətirilməsinə kömək edir və bunu aşağıdakı düsturla ifadə etmək olar:

$$PV = \frac{B_t}{(1+r)^t}, \quad (10.60)$$

burada r - diskontlaşdırma əmsalındır.

Vaxt amili nəzərə alınmaqla (10.60) düsturunu belə yazmaq olar:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}. \quad (10.61)$$

Ümumiyyətlə isə diskontlaşdırılma norması faiz tarifindən (mənfəətindən) ibarətdir. Məsələn, 1000 manat borc bu gün qaytarılmalıdır. Əgər bu məbləğ 10 ildən sonra qaytarılsa, onda onun dəyəri bu günküə nisbətən az olacaq. Məsələn, əgər $r=0,05$ olarsa, onda tələb olunan məbləğ $PV=1000/(1+r)^{10}=613,9$ manat olacaq. Beləliklə, bu günki 613,9 manatın dəyəri 10 ildən sonrakı 1000 manatın dəyərinə bərabər olacaq.

Təbiəti mühafizə tədbirlərinin səmərəliliyinin əsaslandırılmasında istifadə olunan göstəricilərin modelləşdirilməsi. İstənilən ölkənin ictimai inkişafının ayrılmaz hissəsi təbiəti mühafizə fəaliyyətidir. Təbiəti mühafizə xərcləri cəmiyyətin həyat keyfiyyətinin saxlanılması üçün ictimai zəruri xərcləridir.

Təbiəti mühafizə tədbirləri dedikdə istənilən texnoloji, texniki və ya təşkilati tədbirlər başa düşülür və onların realizasiyası ətraf mühitə təsirlərin azaldılması və ya ətraf mühitin dəyişmələrinin mənfi fəsadlarının xəbərdarlıqları ilə əlaqəlidir.

Ətraf mühitin mühafizəsinə sərf olunan xərclər iqtisadi səmərəliliklə qiymətləndirilir. *İqtisadi səmərə* dedikdə isə xərclərin və qazancın (nəticənin) müqayisəsinin pulla ifadəsi başa düşülür. Belə bir yanaşma “*xərclər-qazanclar*” təhlili adını almışdır.

Təbiəti mühafizə tədbirlərinin səmərəliliyini əsaslandırmaq üçün aşağıdakı göstəricilərdən istifadə olunur.

- təmiz gətirilmiş dəyər (qazanc) (NPV – net present value);
- investisiyanın rentabelliği (BCR – benefit-cost ratio);
- investisiya xərclərinin xərcini çıxartma müddəti (PB – period of benefit);
- qaytarılmanın daxili norması (IRR – internal rate of return).

Təmiz gətirilmiş dəyər eyni bir zaman anı üçün diskontlaşdırılmış gəlir və investisiya xərclərinin fərqi ibarətdir:

$$NPV = \sum_{t=1}^T B_t \cdot V_t - \sum_{t=1}^T C_t \cdot V_t, \quad (10.62)$$

burada B_t – t ilində gəlir; V_t – diskontlaşdırılma əmsalı; C_t – t ilində investisiya xərcləri; T – hesablama dövrünün davamiyyətidir.

İnvestisiyanın rentabelliği diskontlaşdırılmış dəyərin ($D_i \cdot V_i$) diskontlaşdırılmış investisiya xərclərinə olan nisbəti başa düşülür:

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^T D_t \cdot V_t}{\sum_{t=1}^T C_t \cdot V_t}. \quad (10.63)$$

Təbii ki, ancaq $BCR > 1$ olduqda investisiya qərarı qəbul edilir.

İnvestisiya xərclərinin xərcini çıxartma müddəti elə bir müddətdir ki, diskontlaşdırılmış gəlirlərin cəmi diskontlaşdırılmış investisiya xərclərinin cəmindən çox olsun:

$$PB = NPV > C_i \cdot V_i. \quad (10.64)$$

Qaytarılmanın daxili norması investisiyalardan elə gəlir normasıdır ki, onu diskontlaşdırma tarifi kimi istifadə etdikdə təmiz gətirilmiş dəyər (gəlir) sıfıra bərabər olsun, yəni, kapital qoyuluşları özlərini tam ödəsin. Bu göstərici aşağıdakı tənliyin həlli yolu ilə hesablanır:

$$\left[\sum_{t=1}^T \frac{B_t}{1+IRR} \cdot t \right] - \left[\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{1+IRR} \cdot t \right] = 0. \quad (10.65)$$

Təbiəti mühafizə xarakterli xərclərin ümumi (mütləq) səmərəliliyi. Ekoloji xarakterli xərclərin ümumi (mütləq) səmərəliliyi tam iqtisadi səmərənin bu səmərənin əldə olunmasına sərf olunan xərclərinin cəminə nisbəti kimi təyin edilir:

$$E_q = \frac{E}{C + E_H \cdot K}, \quad (10.66)$$

burada E_q - təbiəti mühafizə xərclərinin ümumi səmərəliliyi; E - tam illik səmərə; C - cari xərclər; K - bu səmərəni təyin edən kapital qoyuluşu; E_H - kapital qoyuluşunun səmərəliliyinin normatividir.

(10.66) düsturuna daxil olan dəyişən kəmiyyətlər aşağıdakı kimi müəyyənləşdirilir.

$$E = P + D, \quad (10.67)$$

burada P - mühitin çirklənməsindən yaranan qarşısı alınmış illik iqtisadi ziyanın qiyməti; D - istehsal nəticələrinin yaxşılaşdırılmasından gəlirin illik artımıdır.

$$P = Y_1 - Y_2, \quad (10.68)$$

burada Y_1 - təbiəti mühafizə tədbirlərinin aparılmasına qədər müddətdə ziyanın qiyməti; Y_2 - tədbirin aparılmasından sonra qalıq ziyanın qiymətidir.

$$D = \sum_{j=1}^n g_j \cdot z_j - \sum_{i=1}^m g_i \cdot z_i \quad (10.69)$$

burada g_i - tədbirin həyata keçirilməsinə qədər alınan i -növlü məhsulun miqdarı; g_j - tədbirin həyata keçirilməsindən sonra alınan j -növlü məhsulun miqdarı; z_i, z_j - müvafiq olaraq i -, j -məhsul vahidinin qiymətidir.

Kapital qoyuluşunun səmərəliliyinin normativi (E_H) belə hesablanır:

$$E_H = 1/T, \quad (10.70)$$

burada T – kapital qoyuluşlarının özünü ödəməsi müddətidir. Çoxillik məlumatlara görə $T=8,3$ il; $E_H=0,12$.

Kapital qoyuluşunun özünü doğrultması müddəti (T) belə hesablanır:

$$T = \frac{K}{E_q - X_{xerc}}, \quad (10.71)$$

burada X_{xerc} – istismar xərcləridir.

Hər il E_q iqtisadi səmərə verən təbiəti mühafizə tədbirlərinə sərf edilmiş kapital qoyuluşunun E_K səmərəliliyini belə hesablamaq olar:

$$E_K = \frac{E_q - C}{K}. \quad (10.72)$$

Bu vaxt normativ (E_H) və hesablama ($E_{hes.}$) əmsallarından istifadə olunur. Təbiəti mühafizə tədbirlərinin iqtisadi məqsəduşün variantın seçilməsi meyarı aşağıdakı şərtidir:

$E_{hes.} \geq E_H + 0.15$. $T \leq T_H = 6.6$ il şərti ödəniləndə kapital qoyuluşunu iqtisadi cəhətdən sərfəli hesab etmək olar.

Bundan sonra E_K normativ göstəricilərlə E_H müqayisə olunur. $E_K > E_H$ şərtində kapital qoyuluşlarının səmərəli olduğunu demək olar. Bu vaxt normativ səmərəlilik istismar və mühafizə xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla təbii ehtiyatların növünə görə differensiallaşdırılmalıdır. Belə normativlərin hələlilik hazırlanmamasına baxmayaraq mövcud qiymətləndirmələr təbiəti mühafizəyə sərf olunan xərclərin yüksək səmərəliliyini göstərir (cədvəl 10.3).

Cədvəldən görünür ki, kapital qoyuluşlarının iqtisadi səmərəliliyi əksər hallarda yüksəkdir: 0,4-dən 1,3-ə qədər, qoyulan xərclərin çıxarılması müddəti çox da böyük deyil -0,8 ildən 2,6 ilə qədərdir, ancaq bir halda 11 ildən çoxdur.

Təbiəti mühafizə fəaliyyətinin müqayisəli (nisbi) səmərəliliyinin hesablanması. Təbiəti mühafizə fəaliyyətinin müqayisəli (nisbi) səmərəliliyinin təyin edilməsi təbiəti mühafizə əhə-

miyyətli tədbirlərin iqtisadi əsaslandırılması və ən optimal variantların seçilməsi üçün lazımdır. Belə qiymətləndirilmələr bir neçə istiqamətdə aparıla bilər:

Cədvəl 10.3

Su mühafizəsi tikintisinə qoyulan kapitalın səmərəliliyi

Ətraf mühitin çirkəndiriciləri	Qarşısı alınmış ziyan, mln. rubl	Kapital qoyuluşları, mln. rubl	Cari xərclər, mln. rubl	Kapital qoyuluşunun səmərəliliyi	Kapital qoyuluşunun özünü doğrultması müddəti, il
Qara metallurgiya	16,1	17,0	3,4	0,75	1,34
Daş kömür sənayesi	2,3	7,7	1,6	0,09	11,11
İstilik energetikası	10,3	17,6	3,5	0,39	2,56
Maşınqayırma	7,1	11,7	2,3	0,41	2,44
Kimya sənayesi	83,9	57,0	11,4	1,27	0,79

1) Təbiəti mühafizə xərclərinin müqayisəli (nisbi) səmərəliliyi göstəricisi. Regionda ətraf mühitin mühafizəsi üzrə uzunmüddətli proqnozların və proqramların işlənməsində, müxtəlif təbiəti mühafizə tədbirlərinin layihələndirilməsində, istehsalın ekologiyalaşdırılmasına istiqamətlənmiş yeni texnika və ya texnologiyaların tətbiqi variantlarının seçilməsində istifadə olunur. Bu göstərici minimal məcmu xərclərdən ibarətdir və belə yazıla bilər.

$$C + E_n \cdot K \longrightarrow \min . \quad (10.73)$$

2) Əgər, kapital qoyuluşlarının uzunmüddətli realizasiyası üçün tələb olunan tədbirlər (meşələrin bərpası, torpaqların rekvitvasiyası və s.) həyata keçirilərsə, həmçinin vaxta görə istismar (cari) xərclərində dəyişiklik baş verərsə, onda üstün variant aşağıdakı düstura görə təyin olunur:

$$\sum_{t=1}^T \frac{K_n + K_{gt} + C_t}{(1 + E_n)^t} \longrightarrow \min . \quad (10.74)$$

burada T - bütün tədbirlərin həyata keçirildiyi müddət; K_n - təbiəti mühafizə tədbirlərinə başlanğıc kapital qoyuluşu; K_{gt} - tə

biəti mühafizə obyektinin t -ilində ($t = 1, 2, 3, \dots, T$) istismarının normal işini təmin etmək üçün lazım olan əlavə kapital qoyuluşu; C_t – t -ilində istismar xərcləri; E_H – müxtəlif vaxtlı xərclərin bir sıraya gətirilməsinin normativ əmsalıdır (sahəvi normativlərə müvafiq qəbul olunur, məsələn, sənaye, tikinti və kommunal təsərrüfatı üzrə xərclər üçün 0,08, kənd təsərrüfatı üçün 0,05, meşə təsərrüfatı üçün 0,03 qəbul edilmişdir).

3) Konkret müəssisə çərçivəsində birməqsədli ekoloji məsələlərin həlli vaxtı müqayisəli iqtisadi səmərəliliyin göstəricisi kimi gətirilmiş xərclərdən istifadə olunur. *Bir neçə mümkün variantdan ən sərfəli variantın seçilməsi meyarı gətirilmiş xərclərin minimum olmasıdır:*

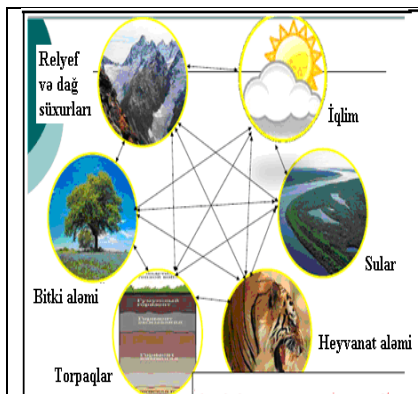
$$Z_{eks} + E_H \cdot K = \min . \quad (10.75)$$

Seçilmiş variantın ekoloji məqsədəuyğunluğu şərti isə zərərli maddələrin ətraf mühitə atılmasının mümkün yol verilən normaya qədər azaldılmasıdır.

XI FƏSİL. TƏBİƏTDƏN İSTİFADƏNİN İQTİSADI QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN RİYAZİ MODELƏŞDİRİLMƏSİ

11.1. Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsi məsələləri

Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsi, onun əsas metodoloji prinsipləri və istiqamətləri. Təbiəti mühafizənin və təbii ehtiyatlardan istifadənin yaxşılaşdırılmasında vacib istiqamətlərdən biri təbii ehtiyatların və təbiət xidmətlərinin adekvat qiymətinin və/və ya iqtisadi qiymətinin təyini. İqtisadi qiymətləndirmə həm də təbiətdən istifadədə ödənişliyinin əsasında yerləşir. Bu işə müəssisələr tərəfindən təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə və texnologiyaların təkmilləşdirilməsi marağını yaradır. Təbii ehtiyatların təbiət obyektlərinin sxemi şəkil 11.1-də, təbiətdən istifadənin iqtisadi mexanizmi isə şəkil 11.2-də göstərilmişdir.

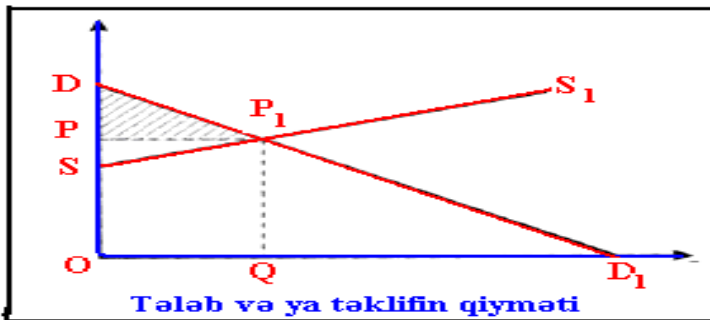


Şəkil 11.1. Təbiət ehtiyatlarının obyektlərinin sxemi



Şəkil 11.2. Təbiətdən istifadənin iqtisadi mexanizmi

Təbii ehtiyatların iqtisadi dəyərinin təyin edilməsi üçün “*ödəməyə hazır olma*” konsepsiyası vacibdir. İstehlakçılar tərəfindən müəyyən bir əmtəyə (mala) görə ödəməyə hazır olması şəkil 11.3-də göstərilmiş *DD₁ tələb əyrisidir*.



Şəkil 11.3. Tələb, təklif və qiymət: DD_1 – tələb əyrisi; SS_1 – təklif əyrisi

DD_1 əyrisi göstərir ki, müxtəlif qiymət səviyyələrində (şaquli ox) əmtəyə (mala) tələb (şaquli ox üzrə ölçülən) necə olacaqdır. P_1 nöqtəsində DD_1 tələb əyrisi ilə SS_1 təklif əyrisi kəsişir, bu da P qiymətinə görə Q miqdarda əmtənin (malın) satın alınmasına uyğun gəlir. Bu vaxt istehlakçı əmtəyə görə $P \times Q$ dəyərini (OPP_1Q düzbucağı) ödəyir. Təbii rifahların qiymətləndirilməsi üçün DP_1P üçbucağı vacibdir. Bu üçbucaq istehlakçı tərəfindən əmtəyə görə ödənilmiş məbləğdən artıq ödəməyə hazır olduğunu göstərən əlavə kəmiyyəti əks etdirir. Nəzəriyyədə bu kəmiyyət *istehlakçının artığı* adlanır.

Müasir elmi terminologiyada isə təbii ehtiyatların iqtisadi qiyməti – təbii ehtiyatların verdiyi təbii rifahın pul (dəyər) ifadəsidir. Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsi təbii ehtiyata xas olan xassələrin insan cəmiyyəti tərəfindən irəli sürülən dəyərləndirmə meyarları ilə tutuşdurmaqdan ibarətdir. Ehtiyatın qiymətliliyi onun istismarı vaxtı təbiətdən istifadəçinin aldığı səmərə ilə təyin olunur. İnsan tələbatının növlərindən asılı olaraq bu qiymətlilik maddi, sosial-iqtisadi, estetik və s. ola bilər. Bununla əlaqədar seçilir:

- *iqtisadi qiymət* – təbii ehtiyatların ictimai faydalılığı (istehsal və istehlak vasitəsilə ictimai tələbatın təmin olunmasında rolu) kimi təyin olunur;

• *qeyri-iqtisadi qiymət* – adətən iqtisadi göstəricilərlə ifadə olunmayan ehtiyatın ekoloji, sosial, estetik, mədəni və ya digər qiymətliliyi kimi təyin olunur;

Beləliklə, *təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsi* - seçilmiş variantlarda təbii ehtiyatlardan istifadənin təsərrüfat səmərəsinin (qiymətinin) pulla ifadəsinin təyiniidir.

Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsinin əsas metodoloji prinsiplərinə aşağıdakılar aiddir:

1. *Komplekslik prinsipi* eyni bir təbiət obyektinin tərkibinə daxil olan bütün təbii ehtiyatların (həm istifadə olunan, həm də mənfi təsirlərə məruz qalan) uçotunu nəzərdə tutur.

2. Bərpa olunan təbii ehtiyatların öz-özünə istehsalının *imperativlik prinsipi* o deməkdir ki, istismara və ya mənfi təsirə məruz qalan təbii ehtiyat hissələri natural formada təkrar istehsal olunmalıdır.

3. Ümumiyyətlə təbii obyektin iqtisadi qiymətləndirilməsinin *optimallaşma prinsipi* o deməkdir ki, təbiət obyektinin tərkibinə daxil olan təbiətdən istifadənin elə variantı mövcuddur ki, bu vaxt axırıncı ən yüksək qiymətə malik olur.

Təbii ehtiyatların qiymətləndirilməsinin istifadəsinin əsas istiqamətləri və tətbiqinin məqsədləri. Qeyd etmək lazımdır ki, ətraf mühitin ekoloji çirklənməsi ilə əlaqədar olaraq ətraf təbii mühitin vəziyyətinin və nəticədə dəyən ziyanın kompleks qiymətləndirilməsinin universal iqtisadi üsulu yoxdur. Elmi ədəbiyyatda işıqlandırılmış iqtisadi qiymətləndirmənin hər üsulu məhdud tətbiq imkanlarına malikdir. Bunun əsas səbəbi isə dəqiq məlumatların olmamasıdır. İndiki zamanda bu müasir üsulların çox hissəsi inkişaf etmiş ölkələrin şəraitinə uyğun işlənmişdir.

Təbii ehtiyatların qiymətləndirilməsinin istifadəsinin əsas istiqamətləri tədricən formalaşmışlar və onlar aşağıdakılardır:

1) Baxılan ehtiyatın xarakterinin dəyişməsinin əsaslandırılması üçün kütləvi plan-layihə hesablamalarında (kənd

təsərrüfatı və ya meşə torpaqlarının tikinti üçün ayrılması və s.), praktikada ən vacib sayılır;

2) Uçot-analitik işlərində (təbii ehtiyatların kadastrının aparılması, təbiətin tərkib hissələrinin qiymətləndirilməsi ilə milli sərvətin hesablanması və s.);

3) Perspektiv planlaşdırmada və proqnozlaşdırma vaxtı (səmərəli istifadənin və təbiət ehtiyatlarının qorunmasının və s. kompleks sxemlərinin işlənməsi);

4) İqtisadi stimullaşdırma sisteminin təkmilləşdirilməsi (təbiətdən istifadəyə görə ödənişlər, iqtisadiyyatda qiymət nisbətlərinin dəyişməsi və s.).

Eyni zamanda, tərkibinə üç komponentin (iqtisadi, sosial, ekoloji) daxil olduğu ətraf mühitin iqtisadi qiymətləndirilməsi aşağıdakıları təyin edir:

1) təbii ehtiyatlardan istifadə səviyyəsini və onların tükənməsi əlamətlərini;

2) sosial-iqtisadi inkişaf səviyyəsini artırmaq üçün qərarların qəbul edilməsinə kömək edən səmərəli və qeyri-səmərəli effektlər arasında balansın yaxşılaşdırılması;

3) ölkələrin və regionların iqtisadi inkişaf göstəricilərini müqayisə etmək üçün qiymətləndirmə üsullarını;

4) ətraf mühitin mühafizəsinə kömək edə bilən inzibati fəaliyyətin kəmiyyətə qiymətləndirilməsini.

Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsinin tətbiqinin məqsədləri aşağıdakılardır:

1) təbii ehtiyatların dəyərinin pul ifadəsi ilə təyini;

2) təbii ehtiyatların istifadəsinin (istismarının) optimal parametrlərinin seçilməsi;

3) təbiət-ehtiyat kompleksinə investisiyaların iqtisadi səmərəsinin qiymətləndirilməsi;

4) təbiətdən qeyri-səmərəli istifadədən yaranan ziyanın təyini;

5) milli sərvətin strukturunda təbii ehtiyatların payının təyini;

6) təbii ehtiyatlar sahəsində milli hesablama sistemlərinin təkmilləşdirilməsi;

7) təbii ehtiyatlardan istifadəyə görə ödənişlərin müəyyən edilməsi;

8) təbii ehtiyatlardan istifadə şərtlərinin pozulmasına və digər təbii ehtiyatlara ziyanların vurulmasına görə cərimələrin müəyyən edilməsi;

9) təbii ehtiyat obyektlərinin girov dəyərinin təyini;

10) təbii ehtiyatlardan istifadənin proqnozlaşdırılması və planlaşdırılması;

11) müəyyən təbii ehtiyatlara mülkiyyətin ən səmərəli formalarının əsaslandırılması.

11.2. Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsinin əsas üsulları və növləri

Təbii ehtiyatların iqtisadi cəhətdən qiymətləndirilməsinin əsas üsulları. Elmi ədəbiyyatın təhlili göstərir ki, təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsi üsullarına aşağıdakıları aid etmək olar:

1. *Qiymətləndirmənin nisbi üsulu* - bazarın marketing tədqiqatları üsullarının köməyi ilə müsahibə və ya anketləşdirmənin keçirilməsinə əsaslanıb. Bu üsul əmək tutumlu və mürəkkəb prosesdir, lakin tədqiqatlar üçün çox böyük miqdarda vacib informasiyanın əldə olunmasına imkan verir.

2. *Xərc və mənfəət təhlili* – iqtisadi mənada üstünlüklər əldə etmək üçün istifadə edilir. Bu üsulda meyarların seçilməsi böyük əhəmiyyətə malikdir. Ən obyektiv meyarlara üsulun səmərəliliyi aiddir.

Xərc üsuluna görə təbii ehtiyatların qiymətləri onların çıxarılmasına, mənimsənilməsinə və ya istifadəsinə görə həyata keçirilir. Bu halda təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətliliyini aşağıdakı hesablama variantlarına görə təyin etmək olar:

- *birbaşa (düzünə) xərclərə görə qiymətləndirmə üsulu* – bu üsula görə ehtiyat mənbəyinin mənimlənməsinə və istifadəsinə görə xərclər toplanır;

- *məsariflərə görə qiymətləndirmə üsulu* - bu halda birbaşa xərclərlə bərabər, onun istismarından yaranan ziyanlar da nəzərə alınır və tərkib hissələri aşağıdakılardır:

- *itirilmiş xeyir prinsipinə görə qiymətləndirmə* bir ehtiyatın xeyrinə digər ehtiyatdan istifadədə əldən buraxılmış gəlirlərin hesablanmasına əsaslanmışdır. Məsələn, cəmiyyət su anbarı tikməklə, həmin ərazinin kənd təsərrüfatında istifadəsindən imtina edir. Beləliklə, kənd təsərrüfatı məhsulunun alınmaması səbəbindən alınmayan gəlir həmin torpaq sahəsinin iqtisadi qiymətini təyin edir;

- *əvəzedicilərin dəyərində görə qiymətləndirmə* - əhəmiyyətinə görə bərabər olan digər ehtiyat mənbəsinin yerləşdirilməsi nəticəsində sərf olunan vəsaitin kəmiyyəti təyin olunur. - *"naqliyyat xərcləri" üsulu*. Ehtiyat obyektinə çatmaq üçün dəyər və ya vaxt xərcləri əsasında (iqtisadi məsafənin qiyməti) ehtiyat mənbəsinin iqtisadi qiymətinin hesablanmasını nəzərdə tutur.

Xərc yanaşması xüsusilədə mineral ehtiyatların, suyun, meşələrin iqtisadi qiymətləndirilməsində, müəyyən hallarda işe bioloji təbii ehtiyatların ayrı-ayrı növlərinin iqtisadi qiymətləndirilməsində istifadə olunur. Məsələn, bu üsul əsasında torpaqların iqtisadi qiymətləndirilməsini belə hesablamaq olar:

$$O = \bar{K} \cdot \left(\frac{Y}{T} : \frac{\bar{Y}}{\bar{T}} \right), \quad (11.1)$$

burada O - 1 ha sahənin iqtisadi qiyməti; \bar{K} - 1 ha torpağın mənimlənməsi dəyəri (ölkə üzrə orta qiymət); $\frac{Y}{T} : \frac{\bar{Y}}{\bar{T}}$ - qiymətləndirilən sahədə və orta hesabla ölkə üzrə məhsuldarlığın cari xərclər olan nisbətidir.

3. *Dəyərlilik üsulu* – iki nemətin (baxılan halda yaxşı bazar və yaxşı ekologiya) qarşılıqlı tamamlılıq prinsipinə əsaslanmışdır. Bu üsul əsasən ətraf mühitin rekreasion və turistik funksiyalarının, həm də qiymət rəqabəti və ətraf mühitlə əlaqəli olan iqtisadi və siyasi dəyişmələr nəticəsində fəaliyyətin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur.

4. *Təsir - effekt (“doza-reaksiya”)* üsulu - qiymətləndirmə ətraf mühitlə əlaqəli olan tədbirlərə sərf olunan xərclərin təyini yolu ilə həyata keçirilir.

5. *Nemət üçün qiymət əmələgətirmə üsulu* – belə bir fərziyyəyə əsaslanır ki, müəssisənin nemət üçün ödənişi bu nemətin xarakteristikalarından asılıdır. Bu üsulda mənfəətin qeyri-bazar dəyəri müşahidə olunmuş bazar sövdələşmələri əsasında qiymətləndirilir.

6. *İtirilmiş üstünlüklər üsulu* - münasib istifadənin potensial mənfəətinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur. Buna nümunə kimi, sulu-bataqlıq sahələrinin bu torpaqların kənd təsərrüfatı məqsədləri üçün istifadəsindən əldə olunan mənfəətin qiymətləndirilməsini göstərmək olar.

7. *Kompensasiya üsulu* - ekoloji ehtiyatların çirklənməsi və deqradasiyası üzrə dəyər qiymətinə görə pul kompensasiyasının ödənilməsi hüquq təşkilatları və sığorta şirkətlərinin öhdəsinə buraxılır.

8. *Profilaktika üsulu* – ekoloji ehtiyatlar ətraf mühitə dəyən ziyanın qarşısının alınması və ya da əlverişsiz təsirin azaldılması tədbirlərinin aparılmasına sərf olunan xərclər əsasında qiymətləndirilir.

9. *Əvəzləmə üsulu* - ətraf mühitin bir komponentinin itirilməsi halında istifadə olunur. Bu üsul əsasən rekreasiya funksiyasının, suaxarların və s. itkilərinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur.

10. *Rekonstruksiya üsulu* – öz ilkin dəyərinə qaytarılması üçün ətraf mühit ehtiyatlarının bərpa və ya yeniləşdirilməsi üçün tədbirlərin dəyərini təyin edir.

11. *Alternativ dəyər üsulu* – təbii ehtiyatların alternativ istifadə variantlarından əldə olunan gəlir əsasında onların gəlirliyinin faydalılığını göstərir.

12. *Matrisa üsulu* - iqtisadi hesablamaların ekologiyalaşdırılmasında böyük əhəmiyyət kəsb edən investisiya layihələrinin ətraf mühitə təsirinin qiymətləndirilməsi üçün çox geniş istifadə olunur.

13. *Renta üsulu* əməklə birbaşa əlaqəsi olmayan müəyyən bir gəlir qiymətləndirilməsinə əsaslanmışdır, iki hissə kimi təsvir oluna bilər: - ən yaxşı və ən pis topraqlardan alınan məhsulun dəyərini fərqinə görə; - istehsal və maya dəyəri qiymətlərinin fərqinə görə. Təbiətdən istifadədə bu gəlir mülkiyyətçinin təbii ehtiyatı icarəyə verməsi və müstəqil istismarı vaxtı yaranır. Bu vaxt təbii ehtiyatın qiyməti onun gətirdiyi gəlirlə təyin olunur. Təbii ki, daha yaxşı sahə mülkiyyətçilərində əlavə gəlir imkanları yaranır, buna isə differensial renta deyilir və onun kəmiyyəti bu düsturla təyin olunur:

$$R_i = (P - Z_i) \cdot Q_i, \quad (11.2)$$

burada P – alınan məhsulun (təbiət xammalının) qiyməti; Z_i – istehsalçının-təbiətdən istifadəçinin fərdi xərcləri; Q_i – istehsal olunmuş məhsulun (təbiət xammalının) həcmidir.

14. *Tam iqtisadi dəyərlik konsepsiyası (TİDK)*. Tam iqtisadi dəyərlik (TİD) kəmiyyəti dörd göstəricinin cəmindən ibarətdir:

$$\begin{aligned} TİD &= istifadənin dəyəri + istifadə etməmənin dəyəri = \\ &= birbaşa istifadənin dəyəri + dolayı istifadənin dəyəri + \\ &sonraya saxlanılmış alternativin dəyəri + mövcudluğun dəyəri. \end{aligned}$$

Bunlardan ən asan hesablanarı istifadənin dəyəridir, bu da istifadə olunmuş təbiət rifahının dəyəri deməkdir. Bu vaxt, dolayı dəyər mümkün qədər çox ərazi hissəsi üçün faydalılığını ortaya çıxarmağa çalışır. Məsələn, mühafizə olunan ərazilərdən məhsulun alınmaması.

15. *Dəyərin subyektiv qiymətləndirilməsi üsulu* – normal bazar şəraiti olmayan iqtisadi sistemlərdə istifadə olunur. Bu

üsul insanlarda ekoloji toplumun aşkar qiymətlərinin araşdırılması yolu ilə bazar qiymətlərinin təyininə əsaslanmışdır. Məsələn, müəyyən ekoloji dəyərə və ya bioloji ehtiyata malik ərazidə yaşayan insanlardan bu ehtiyatın qorunması üçün ödənişlərə nə dərəcədə hazır olmasını soruşmaq yolu ilə qiymət müəyyən edilir.

16. *Gedonistik qiymətmələgəlmə üsulu* da geniş yayılmışdır. Bu üsula “həzz almanın qiymətləndirilməsi” üsulu da deyilir. Bu üsul bir başa bazar qiymətlərinə təsir edən ekoloji rifahı qiymətləndirməyə cəhd göstərir. Məsələn, həmin ərazilərdəki evlərin və mənzillərin qiymətləri bir çox amillərdən asılıdır: otaqların sayı, nəqliyyat infrastruktur, iş yerlərinin olması imkanları və s. Bu vaxt ən vacib amillərdən biri də ətraf mühitin yerli keyfiyyətidir.

Təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsinin növləri. Müasir dövrdə təbii ehtiyatların iqtisadi qiymətləndirilməsinin iki növü seçilir:

1) *Kommerisya qiymətləndirilməsi* – qiymətləndirmənin hesablaşma dövründə müəssisənin tabeliyində qalmış təbii ehtiyatlardan istifadədən təmiz diskont gəlirin maksimal kəmiyyətinin təyini. *Diskontlaşma*–müxtəlif ölçülü xərclərin müəyyən bir vaxt intervalına gətirilməsidir. İnvestisiya, əməliyyat və maliyyə fəaliyyətindən əldə olunan pul vasitələrinin gəlir və çıxarının fərqinə əsaslanmışdır.

2) *Xalq-təsərrüfatı qiymətləndirilməsi* bütün cəmiyyətin marağı pozisiyasından həyata keçirilir, müəssisənin maliyyə axınları çərçivəsindən kənara çıxan xərcləri və nəticələri nəzərə alır (manatla).

$$R_t = \sum_{t=1}^T \frac{Z_t - X_t - X_0 - K_t \pm D_t - P_t \pm Y_t + L_t}{(1 + E)^t}, \quad (11.3)$$

burada T –qiymətləndirmə dövrü, il; Z_t – t -ilində qiymətləndirmədə müəssisənin bütün növ məhsulunun illik istehsalının və digər gəlirlərinin dəyəri; X_t – t -ilində əmtəə məhsulunun istehsalına illik cari xərclər; X_0 – t -ilində təbii ehtiyatların qorun-

masına və yenidən istehsalına sərf olunan xərclər; K_t -ilində kapital xərclər; D_t -ilində təbii ehtiyatlardan istifadə etməklə əlaqəli olaraq yaradılan sosial infrastrukturun saxlanması vaxtı gəlirlər (+), ziyanlar (-); P_t -ilində neqativ risklərin uçotu; Y_t -ilində ətraf mühitin çirklənməsindən vurulmuş (-) və ya qarşısı alınmış (+) nəzərə alınmayan xərclər; L_t -ilində ləğv etmə xərcləri; E -vaxt amilini nəzərə alan əmsaldır (diskontlaşma əmsalı).

Praktikada təbii ehtiyatların qiymətləndirilməsi üçün daha sadə üsullardan istifadə olunur. Bunlardan biri daxili ümumi məhsulun nəzərə alınmasına əsaslanmışdır (manatla):

$$R_t = \sum_{t=1}^T \frac{H_{ft} + H_{pt} + H_{mt} + \Pi_t + X_t + A_t}{(1+E)^t}, \quad (11.4)$$

burada H_{ft} - t -ilində milli büdcəyə vergi, aksiz və ödənişlərdən daxil olan vəsait; H_{pt} - t -ilində rayon büdcəsinə vergi, aksiz və ödənişlərdən daxil olan vəsait; H_{mt} - t -ilində milli büdcəyə vergi və ödənişlərdən daxil olan vəsait; Π_t - t -ilində müəssisənin ixtiyarında qalan gəlir (ziyan); X_t - t -ilində müəssisənin işçilərinin əmək haqları; E - vaxt amilini nəzərə alan əmsaldır.

Bu, aşağıdakı pul vəsaitlərinin cəmini hesablamağa imkan verir:

a) müəssisədə qalan

$$R^m = \sum_{t=1}^T \frac{\Pi_t + X_t + A_t}{(1+E)^t}, \quad (11.5)$$

b) milli büdcəyə istiqamətlənən

$$R^{mb} = \sum_{t=1}^T \frac{H_{ft}}{(1+E)^t}, \quad (11.6)$$

v) rayon büdcəsinə istiqamətlənən

$$R^p = \sum_{t=1}^T \frac{H_{pt}}{(1+E)^t}, \quad (11.7)$$

r) yerli büdcəyə istiqamətlənən

$$R^{yb} = \sum_{t=1}^T \frac{H_{mt}}{(1+E)^t}. \quad (11.8)$$

Müəssisədə qalan gəlir əsasında təbii ehtiyatın bazar dəyərini hesablamaq olar:

$$R_t = \sum_{t=1}^T \frac{\Pi_t}{(1+E)^t}. \quad (11.9)$$

11.3. Regional təbii ehtiyat yataqlarının qiymətləndirilməsi modeli

Regional təbii ehtiyat yataqlarının qiymətləndirilməsi modelinin əsasını bu sahədə yaxşı məlum olan metodika təşkil edir. Burada qiymətləndirilmə aşağıdakı yollarla həyata keçirilir.

Təbii ehtiyatların yataqlarının işlənməsi yolu ilə alınan 1t əmtənin istifadəsinə görə xərclər belə hesablanacaq:

$$Y_x = \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{Q} + X_5 + X_6 \right) \cdot K, \quad (11.10)$$

burada X_1 – baxılan yataq üzrə geoloji-kəşfiyyat işlərinin aparılması üçün gözlənilən xərclər (manat); X_2 – kənd təsərrüfatı təyinatlı torpaqların əkin dövrüyyəsindən çıxması itkisi əvəzinə sərf olunan xərclər (manat); X_3 – təbii ehtiyatların çıxarılmasınının və emalının istehsal xərcləri (manat); X_4 – rekultivasiyaya sərf olunan xərclər (manat); Q – təbii ehtiyatların çıxarılma faydalılığı nəzərə alınmaqla ehtiyatların pulla miqdarı (manat); X_5 – 1 t əmtənin avtonəqliyyat vasitəsilə daşınmasına sərf olunan xərclər (manat); X_6 – 1 t əmtənin istifadəsinə görə xərclər (manat); K – ekvivalentlik əmsalidir.

1 ton təbii ehtiyatın istifadəsi üzrə xərclər aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Z_x = Z_{b/q} + Z_{d/y} + Z_s + Z_{a/n} + Z_{g/s}, \quad (11.11)$$

burada $Z_{b/q}$ – 1 t malın topdansatış bazar qiyməti; $Z_{d/y}$ -1 t məhsulun dəmiryolu ilə daşınmasına və vaqonların boş dayanmasına

görə cərimələrə sərf olunan xərclər; $Z_s - 1$ t alınmış malın saxlanılmasına görə xərclər; $Z_{a/n}$ –satın alınmış 1 t gübrənin avtonəqliyyatla daşınmasına sərf olunan xərclər; $Z_{g/s} - 1$ t gübrənin əkin sahələrinə daxil edilməsinə görə xərcləridir.

Bunlarla bərabər qeyd etmək olar ki, satın alınmış malın istifadəsinə görə sərf olunan xərclər ayrı-ayrı əməliyyatların mexanikləşdirmə səviyyəsinin və həmin malın istifadə texnologiyalarının müxtəlifliyindən, malın saxlanması üçün anbarların olub-olmamasından və daşınmaların orta radiusundan asılıdır.

Baxılan yataq üzrə geoloji-kəşfiyyat işlərinin aparılması üçün gözlənilən xərclər elə xərclərdir ki, təbii ehtiyat yataqlarını işlənilməyə daxil etmək mümkün olsun. Bu xərclərə daxil edilə bilər: axtarış-qiymətləndirmə işlərinə sərf olunan xərclər; qabaqcadan və detallandırılmış kəşfiyyat; istismar kəşfiyyatına sərf olunan xərclər.

Kənd təsərrüfatı təyinatlı torpaqların dövriyyədən çıxması itkisi əvəzinə sərf olunan xərclər belə təyin olunur:

$$X_2 = D \cdot S \cdot A \cdot B, \quad (11.12)$$

burada D – orta çoxillik məlumatlara görə 1 ha torpaqdan alınan təmiz gəlir (manat/ha); S – kənd təsərrüfatı dövriyyəsinə çıxarılmış torpaqların sahəsi (ha); A – torpağın dövriyyədən çıxarılma müddəti, il; B – digər nəzərə alınmamış xərclərdir (məsələn, torpaq sahəsində tikililər ola bilər və onları ya sökmək, ya da əksinə, istifadə etmək lazımdır).

1t malın avtonəqliyyatla daşınmasına və istifadəsinə görə sərf olunan xərclər əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənmədiyi üçün onlara baxmamaq olar. Bu halda təbii ehtiyat yataqlarının qiymətləndirilməsi aşağıdakı düsturla aparıla bilər:

$$Z_{b/q} + Z_{d/y} + Z_s \geq \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{Q} \right) \cdot K \quad (11.13)$$

Təbii ehtiyat yataqlarının iqtisadi qiymətləndirilməsi üçün onları əhəmiyyətinə görə sıralamaq və ən səmərəli yatağı seç-

mək məqsədilə aşağıdakı sadələşdirilmiş düsturdan istifadə etmək olar:

$$Z_{b/q} = \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{Q} \right) \cdot K = \min, \quad (11.14)$$

Təbii ehtiyat yataqlarının iqtisadi qiymətləndirilməsi üçün əmtə məhsulunun istehsalının təşkili məqsədilə aşağıdakı düsturdan istifadə etmək olar:

$$D - (A + P) \geq \left(\frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4}{Q} \right), \quad (11.15)$$

burada D – məhsulun satışından əldə olunan pul; A – icarə haqqı; P – büdcəyə və qeyri-büdcə fondlarına ödənişlərdir.

Bərpa olunmayan ehtiyatların bazar qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri. Bərpa olunmayan ehtiyatların bazar qiymətləndirilməsinin modelləri aşağıdakı üsullara əsaslanmışdır:

- istifadəçinin xərcləri üsulu,
- xalis qiymət üsulu,
- cari dəyər üsulu.

Bu üsullar Rusiya qiymətləndiricilər (qiymət qoyanlar) cəmiyyətinin «Оценка минерального сырья» (СТО РОО 23-01-96) standartlarına və həmçinin qiymətləndirmənin beynəlxalq standartlarına «Оценка минеральных ресурсов» (МСО-EXNR) uyğun gəlir. Onlar Birləşmiş Millətlər Təşkilatının (BMT) iqtisadi və sosial informasiya və siyasətin təhlili Departamenti tərəfindən tətbiq olunmaya tövsiyə edilmişdir. Bu üsullar aşağıdakı məqsədlər üçün istifadə edilir:

- ərazinin təbiət kapitalı tərkibində bərpa olunmayan və bərpa olunan (ehtiyatın götürülməsi həcmnin onun təkrar emalı həcmindən çox olduğu hallarda) təbii ehtiyatların tükənmə göstəricisinin hesablanmasında və ekoloji-iqtisadi matrisaların uçotunda;
- təbii ehtiyatların həcmi və onların tükənmə tempi və s. nəzərə alınmaqla təbii ehtiyatlardan istifadəyə görə vergi qoyma dərəcəsinin korrektə edilməsində.

Riyazi modellərin konkret tətbiqi mümkünlüyünü göstərmək üçün burada Rusiyada tətbiq olunmuş nümunə də verilmişdir. Bu modellər Saratov vilayətində Uritsk neft-qaz yataqlarının ehtiyatlarının tükənməsinin qiymətləndirilməsində (2000-ci ildə) istifadə olunmuşdur. Bu yataqların ehtiyatlarının tükənməsinin qiymətləndirilməsi onların tükənməsi amili nəzərə alınmaqla xammal ehtiyatlarının istismarına görə vergi qoymanın təkmilləşdirilməsi hesabına yerli büdcənin gəlirlərinin maksimallaşdırılması məqsədilə təkliflərin işlənməsi olmuşdur. Belə ki, indiki zamanda neft-qaz xammalının çıxarılması səbəbindən yerli büdcənin 30%-ini bu işlərdən tutulan vergilər təşkil edir. Belə ki, baxılan ehtiyatın tükənməsinin nəzərə alınması yerli rayona onların həcmnin azalmasını proqnozlaşdırmağa və vergi dərəcələrinin korrektə edilməsinə, həm də büdcənin gələcəkdə təbii ehtiyatın tükənməsi səbəbindən yaranacaq itkilərin əvəz edilməsi yollarının axtarılmasına imkan verə bilər.

İstifadəçinin xərcləri üsulu. Bu üsul El Serafi (Ümumdünya Bankı, 1989) tərəfindən təklif olunmuşdur və dünya praktikasında geniş tətbiq olunur. İstifadəçinin xərc üsulu təbii ehtiyat yataqlarının istismarının bütün müddətində renta səviyyəsinin sabit saxlanılmasını nəzərdə tutur. Rentanın sabit saxlanılması ərazi ehtiyatlarının nisbətən tam axtarılması və qiymətləndirilən xammalın inkişafda olan və sabit bazar şəraitində çoxsaylı böyük olmayan yataqlardan mineral xammalın çıxarılması, emalı və ixracı üzrə ixtisaslaşan rayonlarda geniş yayılmışdır. Bu şərtlər çərçivəsində lokal səviyyədə inkişaf üçün ətraf mühitin ehtiyatlarının tükənməsinin mənfi təsirləri nəzərə alınır. Bununla da üsulun istifadəsi ərazinin inkişafının sosial problemlərinin həlli üçün əsas (bünövrə) yaradır.

Bu üsul əsasən tükənmə amili həmin resursun ehtiyatına əhəmiyyətli təsir göstərdiyi hallarda tətbiq olunur. Məsələn, diskontlaşdırma dərəcəsinin təxminən 3% şərtində yatağın gözlənilən istismar müddətinin 125 il olacağı vaxtı *tükənmə gös-təricisi* çox böyük olmayacaq. Əgər yatağın tükənməsi müddəti

50 ildən az təşkil edərsə, belə “amortizasiya” əhəmiyyətli amilə çevriləcək. Ehtiyatların istismarı üçün iqtisadi renta ildən ilə dəyişdikdə bu üsul dəqiq nəticə verməyəcək. Bu üsulla hesablamaların əsasını tükənmə göstəricinin təyini təşkil edir. Tükənmə göstəricisi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$U = \frac{R}{(1+S)^T}, \quad (11.16)$$

$$R = G - (O - r \cdot K), \quad (11.17)$$

burada U - tükənmə göstəricisi, min rubl/il; S – diskontlaşdırmanın dərəcəsi, %; T – faydalı qazıntı yatağının istismarının proqnozlaşdırılan müddəti, il; R – ehtiyata görə iqtisadi renta; G – yatağın istismarından əldə olunan illik mədaxil, rubl/il; O – xammalın yataqdan çıxarılmasının cari xərcləri; r – yatağın istismarından gözlənilən qazancın tarifi; K – ümumi cəlb edilmiş kapitalın həcmidir, rubl.

Model vasitəsilə hesablama nümunəsi. Hesablamalar üçün başlanğıc məlumatlar cədvəl 11.1-də verilmişdir. Yatağın istismarının bütün müddəti ərzində 2000-ci il üçün neftin qiyməti, hasilat həcmi və hasilatın xərcləri sabit götürülmüşdür. Bu ildə hasilatın həcmi təşkil edib: neft – 33,2 min ton; qaz – 83,6 mln. ton.

Cədvəl 11.1

Urtsk (RF, Saratov vilyaəti) neft-qaz yatağının işlənilməsinin əsas göstəriciləri

Xammalın növü	Hasilat həcmi, min (mln.m ³)	Xammalın qalıq ehtiyatı (hasilat oluna bilən), min t (mln. m ³)	1t hasilatın maya dəyəri, 999-cu ilə görə min rubl	İstehsalın hesablanmış xərcləri, 999-cu ilə görə min rubl	Satılan məhsulun qiyməti, rubl/xammal vahidi	01.01.2000 tarixinə əsas fondların dəyəri, min rubl
Neft (min t)	33,2	778,00	561,55	18643,46	1300,00	31268,00
Qaz (mln. m ³)	83,6	641,00	205,81	17205,72	189,39	33348,00

Yatağın proqnostik istismar müddətini təyin etmək üçün qalıq neft və qaz ehtiyatları hasilatın illik layihə səviyyəsi ilə əlaqələndirilmişdir. Bu vaxt tükənmənin hesablanması üçün çıxarıla bilən neft ehtiyatı 200 min ton azaldılmışdır (səbəb isə qalıq ehtiyatın çıxarılmasının iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun olmamasıdır). Nəticədə neft ehtiyatlarının çıxarılmasının gözlənilən müddəti 17 il $((778 \text{ min t} - 200 \text{ min t})/33,2 \text{ min t})$, qazınkı isə - 8 il $(641 \text{ mln.m}^3/83,6 \text{ mln.m}^3)$ təşkil edəcək. Bütün istismar müddətində illik iqtisadi renta sabit qalacaq, diskontlaşdırma dərəcəsi isə 10% qəbul edilmişdir. Bu şərtlər çərçivəsində hesablamaların nəticəsində aşağıdakı qiymətlər alınmışdır:

$$R = G - (O - r \cdot K) = 58993 \text{ min rubl / il} -$$

$$- (35849,18 \text{ min rubl} + 27,85\% \cdot 64616 \text{ min rubl})$$

$$= 5148,26 \text{ min rubl / il.}$$

$$U = \frac{R}{(1+S)^T} = \frac{5148,26 \text{ min rubl / il}}{(1+0,1)^{17}} = 1018,6 \text{ min rubl / il.}$$

Beləliklə, yatağın istismarının bütün proqnozlaşdırılan müddətində ehtiyatın illik tükənmə qiyməti 1018,6 min rubl/il təşkil etmişdir.

Xalis qiymət üsulu. Xalis qiymət üsulu bərpa olunmayan resursların miqdarının qiymətləndirilməsi üçün aşağıdakı şərtlər çərçivəsində istifadə olunur:

- daha dəqiq qiymətləndirmə aparmaq üçün lazımi başlanğıc məlumatların toplanmasına və dəqiqləşdirilməsinə vaxt və vəsait çatmadıqda;
- yatağın istismar müddətinin və qiymətləndirilən xammalın ehtiyatının, həm də ona gələcəkdə bazar tələbatının proqnozlaşdırılmasının mümkünsüzlüyü və ya çətinliyi olduqda.

Lazımi məlumatların toplanması üçün bu üsulun tətbiqi nisbətən əhəmiyyətli olmayan vəsait və vaxt tələb edir. Lakin, o, tükənmənin qiymətləndirilməsində olduqca əslində olduğundan

çox nəticə verir. Bu üsul qiymətləndirmənin vacib amilləri olan istismar müddətini və diskontlaşdırma dərəcəsini nəzərə almır.

Təbii ehtiyatın tükənməsi xüsusi rentanın ehtiyatların dürüst həcmnin dəyişməsinə hasili kimi təyin olunur. *Tükənmə göstəricisi* aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$U = U_R \cdot R \cdot (D - N), \quad (11.18)$$

$$R = G - (O - r \cdot K), \quad (11.19)$$

burada U – tükənmə göstəricisi, min rubl/il; U_R – vahid çıxarılan ehtiyata qoyulan renta, min rubl/vahid; D – ehtiyatın hasilatının illik həcmi, vahid/il; N – yatağın dürüst ehtiyatı, vahid; R – ehtiyata görə iqtisadi renta; G – yatağın istismarından əldə olunan illik mədaxil, rubl/il; O – xammalın yataqdan çıxarılmasının cari xərcləri; r – yatağın istismarından gözlənilən qazancın tarifi; K – ümumi cəlb edilmiş kapitalın həcmidir, rubl.

Cari dəyər üsulu. Cari dəyər üsulu ilk dəfə R. Repetto tərəfindən təklif olunmuş (Dünya ehtiyatları İnstitutu), 1994-cü ildə hazırlanmış (Meyer, 1994), Malaziyada istifadə edilmişdir (Vincent J., Mohammed Ali R., 1997 and WWF Malaysia and HIID, 1997). İndiki zamanda dayanıqlı inkişaf prinsiplərinə müvafiq olaraq təbiətdən istifadənin idarə olunmasının dünya praktikasında geniş istifadə olunur. Bu üsul BMT-nin ekoloji-iqtisadi uçot prinsiplərinə əsaslanmışdır və istismarın göstərilən dövrü ərazində ehtiyatın cari dəyərinin illik dəyişməsinə təyin etməyə imkan verir. Tükənmənin illik göstəricilərinin alınmış qiymətləri əhəmiyyətli dərəcədə illər üzrə ehtiyatın istismar proqnozunun dəqiqliyi ilə təyin edilir. Bu üsul ən etibarlı nəticələri verir. Bu üsul, lazımı başlanğıc məlumatların əldə olunmasının mümkünlüyü və qiymətləndirilən xammalın bazarlarının uzunmüddətli stabilliyi şəraitlərində ən səmərəli üsuldür. Bu halda proqnoz göstəriciləri ən yüksək dərəcədə xammal ehtiyatlarının istismarının real tendensiyalarına, renta və tükənmə göstəriciləri isə - real iqtisadi axınlara uyğun gələcək. Cari dəyər üsuluna görə təbii ehtiyatın tükənməsi göstəricisi aşağıdakı düsturlarla hesablanır:

$$U = R_t - \left(\frac{S}{(1+S)} \right) \cdot V_{t+1}, \quad (11.20)$$

$$V_{t+1} = V_t - R_t \cdot (1+S), \quad (11.21)$$

$$R_t = G - (O + r \cdot K), \quad (11.22)$$

burada U – tükənmə göstəricisi, min rubl; S – diskontlaşdırma dərəcəsi, %; t – ehtiyatın istismarının proqnoz müddəti, il; V_{t+1} – $t+1$ ilində resursun ehtiyatının cari dəyəri (cari renta gəlirinin dərəcəsinə və resursun gözlənilən mövcudluğu müddətinə əsaslanmışdır); V_t – t ilində resursun ehtiyatının cari dəyəri, min rubl; R_t – t ilində resursa görə iqtisadi renta, min rubl; G – yatağın istismarından əldə olunan illik mədaxil, min rubl; O – xammalın çıxarılmasının cari xərcləri, min rubl; r – yatağın istismarından gözlənilən gəlir dərəcəsi, min rubl (müəyyən bir resurs çıxaran müəssisənin müəyyən ildə qoyduğu kapitaldan əldə olunan gəlirin orta qiyməti kimi hesablanır. Belə məlumatlar olmadıqda bütün iqtisadiyyat üçün təyin edilmiş müvafiq göstəricidən istifadə oluna bilər); K – ümumi cəlb edilmiş kapitaldır, min rubl.

11.4. Su ehtiyatlarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modelləri

Su ehtiyatlarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsinə iqtisadiyyatın müxtəlif sahələrində istifadə olunan və oluna bilən yerüstü və yeraltı su ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi daxildir. Belə qiymətləndirmə su obyektindən həm suyun götürülməsi, həm də götürülməməsi ilə əlaqəli olan onların istifadəsi (kommunal təsərrüfatda, sənayedə, kənd təsərrüfatında, hidroenergetikada, gəmiçilikdə, ağacların çayla axıdılmasında və s.) istiqamətlərinin məcmusu üzrə hər bir su obyektinin tərkibində aparılır. Su ehtiyatlarının qiymətləndirilməsinin müxtəlif aspektlərinə aşağıda baxılmışdır.

1) Su ehtiyatlarının iqtisadi qiymətləndirilməsi aşağıdakı düsturla həyata keçirilir:

$$V_k = (V_H + V_T + O) - I, \quad (11.23)$$

burada V_k – hesabət ilində su təsərrüfatı sistemində sonuncu su ehtitatu, mln.m³/il; V_H – bazis ilində sistemdə suyun başlanğıc həcmi, mln.m³/il; V_T – bazis ilində təsərrüfat ehtiyacları üçün götürülmüş suyun həcmi, mln.m³/il; O – atmosfer yağıntıları formasında il ərzində su təsərrüfatı sisteminə axıb gəlmiş suyun həcmi, mln.m³/il; I – il ərzində sistemdən buxarlanmış suyun həcmidir, mln.m³/il.

2) Su ehtiyatlarının itkilərindən yaranan və ziyanların, əldən verilmiş qazancın və su ehtiyatlarından istifadəçilərin itkilərinin cəmlənmiş mümkün ziyanlarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsi aşağıdakı düstur vasitəsilə həyata keçirilir:

$$Y_i = Y_V + Y_c + Y_p + Y_z, \quad (11.24)$$

burada Y_i – su ehtiyatlarının itkilərindən yaranan mümkün ziyanlar, manat; Y_V – əldən verilmiş qazanc (su ehtiyatlarının çirklənməsi və ya itkilər vaxtı mənfəətin tam alınmaması ilə xarakterizə olunur), manat; Y_c – əlavə məhsulun alınması üçün əlavə xərclərin həcmi ilə təyin olunan itkilər, manat; Y_p – su ehtiyatlarının bərpasına kompensasiya xərclərin həcmi ilə təyin olunan itkilər, manat; Y_z – su ehtiyatlarının çirklənməsi, içməli suyun keyfiyyətinin pisləşməsi nəticəsində əhəlinin sağlamlığının pisləşməsi göstəriciləridir, manat.

3) Su ehtiyatlarının istifadəsindən yaranan ekoloji-iqtisadi səmərənin qiyməti aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$E_{ei} = \frac{\Delta P_{or}}{K_e}, \quad (11.25)$$

burada E_{ei} -ekoloji-iqtisadi səmərəliliyin kəmiyyəti; ΔP_{or} - baxılan su obyektinin istifadəsi vaxtı yaranan ortaillik differensial renta; K_e - baxılan su obyektinin istifadəsi vaxtı səmərəliliyin normativ əmsəlidir.

*Su ehtiyatlarının bazar qayimətləndirilməsinin riyazi modeli. **Modelin əsasını təşkil edən metodoloji tövsiyələr.*** Bu modelin əsasını təşkil edən metodoloji tövsiyələr mövcud infor-

masiya bazası nəzərə alınmaqla Rusiyada işlənmiş CHC 2008 əsasnaməsi, beynəlxalq təcrübə və Rusiya Federasiyasının müvafiq qanunvericiliyi təşkil edir.

İstehsal olunmamış təbii ehtiyatların bazar qiymətlərinin təyin edilməsi problemi ən mürəkkəb və az öyrənilmiş məsələlərdən biridir. Bu, həm baxılan ehtiyatın spesifik xarakteri, həm də onların hesablanması üzrə praktiki təcrübənin az olması ilə əlaqəlidir. Məsələn, nümunə kimi göstərmək olar ki, dünyanın ancaq bir neçə ölkəsində təbii ehtiyatların bazar qiymətləndirilməsi aparılır və onlar bir qayda olaraq mineral - xammal ehtiyatlarının və torpaqların qiymətləndirilməsi ilə kifayətlənirlər. Su ehtiyatlarının bazar qiymətləndirilməsinə gəldikdə isə, onu demək olar ki, belə işlər Avstraliyada görülür və sırf eksperimental xarakter daşıyır, alınan nəticələrə isə ehtiyatla yanaşılır.

CHC2008 əsasnaməsi su ehtiyatlarını elə təbii ehtiyat kateqoriyasına aid edir ki, onlar da öz növbəsində qeyri-maliyyə və qeyri-istehsal aktivlərinə daxil edilirlər. Hesablamaların su ehtiyatlarının istifadəsi istiqamətləri və regionlar üzrə aparılması tələb olunur.

Yerüstü su ehtiyatlarının bazar qiymətləndirilməsi.

Ümumiyyətlə, dövlətin sudan istifadəyə görə hüquqların verilməsindən alına bilən illik pul gəlirinin hesablanmış/ maksimal miqdarı aşağıdakı yolla hesablanıla bilər:

$$D_{hes.} = D_{s/o} + D_{el} + D_{ak} + D_{tul.+D_d}, \quad (11.26)$$

burada $D_{hes.}$ – aktivin mülkiyyəçisi (dövlət) tərəfindən onun istifadəsindən alına bilinən təbiət rentası növünün normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; $D_{s/o}$ - aktivin mülkiyyətçisi (dövlət) tərəfindən onun su mənbəsi kimi istifadəsindən alına bilinən təbiət rentası növünün normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; D_{el} - aktivin mülkiyyətçisi (dövlət) tərəfindən onun elektrik enerjisinin alınması mənbəsi kimi istifadəsindən alına bilinən təbiət rentası növünün normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; D_{ak} - aktivin mülkiyyəçisi (dövlət) tərəfindən onun akvatoriyasının istifadəsindən alına bilinən təbiət rentası növü-

nün normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; D_{tul} – aktivin mülkiyyəçisi (dövlət) tərəfindən onun çirkab sularının qəbul-edicisi kimi istifadəsindən alına bilinən təbiət rentası növünün normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; D_d – hesabat dövründə aktivin mülkiyyəçisi (dövlət) tərəfindən alınmış digər gəlirlərin (cərimələrdən, auksionlardan və s.) faktiki kəmiyyətidir.

(11.26) düsturunun tərkib hissələri aşağıdakı kimi hesablanıla bilər:

$$D_{s/o} = V_I \times P_{norma}, \quad (11.27)$$

burada V_I – bağlanmış sudan istifadə müqavilələrinə müvafiq olaraq su obyektindən götürülə bilən suyun həcmi; P_{norma} – sudan istifadə müqavilələri və ya su vergisi tarifi üzrə su ehtiyatlarına görə ödənişlərin normativ tarifidir.

Hesablamaları su hövzələri üzrə aparmaq lazımdır, çünki məhz bu nöqtəyi-nəzərdən su ehtiyatlarına görə ödənişlərin tarifləri differensiallaşdırılıb. Hesablamalar üçün başlanğıc məlumatları müvafiq hökumət qurumlarından almaq olar.

Elektrik enerjisinin istehsalı üçün hidroehtiyatlardan istifadə hesabına alınan illik gəlirin miqdarı aşağıdakı düsturun köməyi ilə hesablanır:

$$D_{el} = V_{el} \times P_{nor. en}, \quad (11.28)$$

burada V_{el} – çay hövzələri üzrə mövcud olan su elektrik stansiyalarının layihə gücü; $P_{nor. el}$ – çay hövzələri üzrə hasil olunmuş 1 kvt-saat elektrik enerjisi üçün ödənişin tarifidir. (11.28) düsturundan görüldüyü kimi, ödənişin yığılması (alınması) qaydası elədir ki, onun miqdarı istifadə olunan suyun həcmindən deyil, istehsal olunmuş elektrik enerjisinin miqdarından asılı olaraq təyin edilir. Buna görə də D_{el} kəmiyyəti mövcud SES-lərin gücündən asılı olaraq alına bilər.

Burada da hesablamaları su hövzələri üzrə aparmaq lazımdır, çünki məhz bu nöqtəyi-nəzərdən su ehtiyatlarına görə ödənişlərin tarifləri differensiallaşdırılıb.

Sututarların akvatoriyalarının istifadə olunması hesabına alınan illik gəlirin miqdarı aşağıdakı düsturla hesablanı bilər:

$$D_{ak} = P_{akv} \times P_{nor.akv} , \quad (11.29)$$

burada P_{akv} – bağlanmış sudan istifadə müqavilələrində göstərilmiş istifadə olunan akvatoriyanın sahəsi; $P_{nor.akv}$ – akvatoriyadan istifadəyə görə tarifdir.

Çirkab sularının tullantısı üçün sututarların istifadəsinə görə alınan illik gəlirin miqdarı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$D_{tul.} = V_{tul.} \times Z_{nor.} , \quad (11.30)$$

burada $V_{tul.}$ – ekoloji normalara müvafiq olaraq su obyektinə ziyan vurmada, onun qəbul edə biləcəyi çirkab sularının həcmi; $Z_{nor.}$ – tullanmış çirklə suya görə ödəniş tarifi orta kəmiyyətdir.

Hesablamaları sudan istifadə müqavilələrinə uyğun olaraq toplanmış vergilər və ödənişlər barədə informasiya olan su hövzələri və regionlar üzrə aparmaq tövsiyə olunur.

Hesabat dövründə aktivin mülkiyyəçisi (dövlət) tərəfindən alınmış digər gəlirlərin (cərimələrdən, auksionlardan və s.) miqdarını (D_d) onların faktiki kəmiyyətləri səviyyəsində qəbul etmək tövsiyə edilir.

Yeraltı su ehtiyatlarının bazar qiymətləndirilməsi. Yeraltı su ehtiyatlarından istifadəyə görə mülkiyyətçi (dövlət) tərəfindən alınan gəlirin (mənfəətin) miqdarının qiymətləndirilməsini yeraltı su resursunun ehtiyat göstəricisi, həm də müvafiq vergilərin rəsmi tarifləri əsasında aparmaq tövsiyə olunur. Ayrı-ayrı hallarda faktiki ödənişlər barədə məlumatlar əsasında empirik yolla hesablanmış orta göstərici tarifləri də istifadə oluna bilər. Hesablamaları ayrı-ayrılıqda yeraltı suların aşağıdakı növlərinə görə aparmaq lazımdır:

a) təsərrüfat-məişət su təchizatı üçün istifadə olunan şirin (içməli) sular;

b) istehsalat-texniki su təchizatı üçün istifadə olunan sular (yəni elə sular ki, onlarda mineral əlavələrin miqdarı məişət is-

tehlakı üçün müəyyənləşdirilmiş normalardan çoxdur və onlar sənayedə aqreqatların və s. soyudulması üçün istifadə olunur);

c) mineral sular (müalicəvi, xörək və s.);

ç) sənaye suları (faydalı maddələr çıxarıla bilən sular, məsələn, yod);

d) istilik-energetik sular (qızmar yeraltı suları elektrik enerjisinin istehsalı və ya qızdırılma üçün istifadə etmək olar);

Qeyd etmək olar ki, axırıncı iki su qrupunun (ç, d) istifadəsinin bazar qiymətlərinin müəyyənləşdirilməsi hələlik bir çox ölkələr üçün aktual deyil.

Təsərrüfat-içməli su təchizatı üçün su vergi tarifi adətən vergi kodeksində göstərilir. Əgər, bu halda yeraltı su içmə və məişət ehtiyacları üçün götürülərsə (məhz götürülərsə, faktiki olaraq istifadə olunmazsa), onda tarif bütün ölkə üzrə eyni götürülür və sosial istiqamətə malikdir (məsələn, Rusiyada hər 1000 m³ suya 70 rubl), hətta su butulkalara doldurulsu və satılsa belə, bu tarif tətbiq olunur.

İstehsal-texniki su təchizatı üçün su vergi tarifi regionlar (hövzələr) üzrə differensiallaşdırılıb və adətən vergi kodeksində göstərilir.

Mineral suların çıxarılmasına vergilərin qoyulması vaxtı tamamilə başqa prinsiplər istifadə olunur, çünki burada söhbət faydalı qazıntıların çıxarılmasına qoyulan vergidən istifadədən gedir. Bu halda vergi tarifi onun maya dəyərinin faizi formasında müəyyənləşdirilir, onlar differensiallaşdırılmışdır və bir qayda olaraq müvafiq lisenziyalarda göstərilmişdir. Bu vəziyyət normativ kəmiyyətlərdən istifadə imkanlarını praktiki olaraq tam istisna edir. Buna görə də, baxılan halda illik gəlirin miqdarının qiymətləndirilməsi üçün son üç ildə alınmış gəlirin orta qiymətindən istifadə etmək tövsiyə olunur. Beləliklə, hesablamaların aşağıdakı ardıcılıığı tövsiyə edilir:

$$D_{y/s} = D_{t/m} + D_{i/t} + D_{m/s}, \quad (11.31)$$

burada $D_{y/s}$ - aktivin mülkiyyəçisi (dövlət) tərəfindən onun istifadəsindən alına bilinən təbiət rentası növünün normal illik

gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; $D_{t/m}$ - aktivin mülkiyyətçisi (dövlət) tərəfindən onun təsərrüfat-icməli su ehtiyacları üçün istifadəsindən alına bilinən normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; $D_{i/t}$ - aktivin mülkiyyətçisi (dövlət) tərəfindən onun istehsalat-texniki su təchizatı ehtiyacları üçün istifadəsindən alına bilinən normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; $D_{m/s}$ - aktivin mülkiyyətçisi (dövlət) tərəfindən onun mineral su yataqlarının istifadəsindən alına bilinən normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyətidir.

(11.31) düsturunun ayrı-ayrı elementlərinin hesablanması aşağıdakı kimi aparılır.

1) $D_{t/m}$ üçün:

$$D_{t/m} = V_{t/m} \times P_{nor.t/m}, \quad (11.32)$$

burada $V_{t/m}$ – bağlanmış müqavilələrə/lisenzialara uyğun olaraq təsərrüfat-icməli su təchizatı ehtiyacları üçün yeraltı su obyektindən götürülə bilən suyun ehtiyatı; $P_{nor.t/m}$ - təsərrüfat-icməli su təchizatı üçün istifadə olunan suya qoyulan verginin tarifidir.

2) $D_{i/t}$ üçün:

$$D_{i/t} = V_{i/t} \times P_{nor.i/t}, \quad (11.33)$$

burada $V_{i/t}$ – bağlanmış müqavilələrə/lisenzialara uyğun olaraq istehsalat-texniki su təchizatı ehtiyacları üçün yeraltı su obyektindən götürülə bilən suyun ehtiyatı; $P_{nor.i/t}$ - istehsalat-texniki su təchizatı üçün istifadə olunan suya qoyulan verginin tarifidir.

3) $D_{m/s}$ üçün:

$$D_{m/s} = \max(DMBt-2, DMBt-1, DMBt), \quad (11.34)$$

burada $\max(DMBt-2, DMBt-1, DMBt)$ - son üç ildə alınmış gəlirin faktiki kəmiyyətinin maksimal illik qiymətidir.

Hesablamaların 2-ci mərhələsində yeraltı su ehtiyatlarının bazar dəyəri qiymətləndirilir. Hesablamalar illik gəlirin kapitalizasiyasının qiymətləndirilməsi üsulu ilə aparılır. Onun əsasını birinci mərhələdə alınan illik pul gəlirləri və kapitalizasiya

əmsalının tarifi təşkil edir. Beləliklə, cəmi dəyər aşağıdakı düsturun köməyi ilə hesablanır:

$$C_{akt} = \frac{D_{hes}}{K_{kap.}}, \quad (11.35)$$

burada C_{akt} – su ehtiyatlarının cəmi dəyəri; D_{hes} – təbiət rentası növünün normal illik gəlirinin hesablanmış kəmiyyəti; $K_{kap.}$ – kapitalizasiya əmsalıdır.

11.5. Meşə ehtiyatlarından istifadəyə görə ekoloji-iqtisadi qiymətləndirmənin riyazi modeli

Meşədən istifadəyə daxildir: -oduncaq tədarükü; -oduncaq şirələrinin və iynəyarpaqlı ağaclardan alınan qatranlı şəffaf şirələrin tədarükü; -ikinci dərəcəli meşə materiallarının (kötük, ağac qabığı və s.) tədarükü; -meşədən ikinci dərəcəli istifadə; -ovçuluq təsərrüfatının ehtiyacları üçün meşə fondunun həcmnin təyini; -elmi-tədqiqat və tədris-təcrübə işləri; -sağlamlıq, rekreasiya, turistik və idman tədbirləri vaxtı meşə fondundan istifadənin həcmnin təyini.

Meşə ehtiyatlarının iqtisadi qiymətləndirilməsi təbii renta nəzəriyyəsinə əsaslanır. Müasir dövrdə cəmiyyətin inkişaf mərhələsində ətraf mühitin əhəmiyyətliyinin məhdudlaşdırılması səviyyəsinin artması ekoloji - iqtisadi renta anlayışının ayrılmasını və təbii ehtiyatların sırf iqtisadi qiymətləndirilməsindən ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməyə keçidi tələb edir.

Ekoloji-iqtisadi meşə rentasına meşə ehtiyatlarının təkrar emalının tam iqtisadi və meşələrin ekoloji funksiyalarının özünü biruzə verməsindən səmərəsi daxildir. Meşə ehtiyatları onları digər təbii ehtiyatlardan fərqləndirən bir sıra spesifik xassələrə malikdir və qiymətləndirmənin mürəkkəb obyekt kimi çıxış edir. Bu vaxt aşağıdakı parametrlər təyin edilir.

1) Meşə ehtiyatlarının istismar və mühiti mühafizə dəyərliliyi meşəquruluşu məlumatlarına görə təyin edilir. Müəyyən bir ərazi hüddusunda istismar qiymətliliyi (I_q) aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$I_q = I_d + I_p + I_o + I_{dr}, \quad (11.36)$$

burada I_d – oduncaq tədarükü vaxtı meşə fondundan istifadə nəticəsində əldə olunan gəlir; I_p - meşə fondundan ikinci dərəcəli istifadə nəticəsində əldə olunan gəlir; I_o – ovçuluq təsərrüfatının ehtiyacları üçün istifadə nəticəsində əldə olunan gəlir; I_{dr} – başqa məqsədlər üçün istifadə nəticəsində əldə olunan gəlirdir.

2) Meşələrin təkrar emalının (yetişdirilməsinin) iqtisadi səmərəliliyi aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$K_{my} = \frac{T_z + T_k + T_{p.k} + T_p + T_{p.p} - C_c}{C_b}, \quad (11.37)$$

burada K_{my} – meşələrin becərilməsinin səmərəlilik əmsalı; T_z - əkilmiş ağacın kəsilmə yaşında ehtiyatının məzənnə dəyəri; T_k - ağacların çətirindən (budaqlarından) kəsilmiş hissə ehtiyatının məzənnə dəyəri; $T_{p.k}$ – ağac kötük və kök ehtiyatlarının məzənnə dəyəri; T_p – ağacların çərtilib şirə almadan və əlavə istifadədən əldə olunan gəlir; $T_{p.p}$ – aralıq istifadə olunan məhsulun dəyəri; C_c – meşə ehtiyatlarının yetişdirilməsinə sərf olunan istismar xərcləri; C_b – meşə ağaclarının kəsilmə yaşına qədər yetişdirilməsinin maya dəyəridir.

3) Ekoloji-iqtisadi renta meşə ehtiyatlarının təkrar emalı effektindən asılı olduğu üçün, bu göstərici meşə məhsullarından əldə olunan gəlirin törəməsi kimi çıxış edir. Bu vaxt onun aşağı həddi (R^*) bu düsturla hesablanır:

$$R^* = C \cdot K_I \cdot K_R, \quad (11.38)$$

burada C – meşə kompleksinin son məhsulunun istehsalının maya dəyəri; K_I - meşə kompleksi məhsulunun səmərəlilik (rentabellik) əmsalı; K_R – renta əmsalıdır.

(11.38) düsturunda ($C \cdot K_I$) hasili meşə kompleksinin son məhsulunun normativ gəliridir və o, renta əmsalının (əlavə effektin artımına kapital qoyuluşunun səmərəlilik əmsalı) köməyi ilə mütləq rentaya (meşə ehtiyatlarının təkrar emalı effektini əks etdirən) transformasiya olunur.

4) Differensial rentanın (R^{**}) təyini təbii-istehsal xarakterli əsas parametrlərə görə rentanın aşağı həddinin korreksiyası ilə əlaqəlidir:

$$R^{**} = R^* \cdot (K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 - I), \quad (11.39)$$

burada K_2 – oduncaq növünün təsərrüfat dəyərliyi əmsalı; K_3 – meşələrin ekoloji dəyərliyi əmsalı; K_4 – oduncağın irililik kateqoriyasını nəzərə alan əmsal; K_5 – oduncağın daşınib çıxarılması məsafəsini (istehlak və ya yükləmə məntəqəsinə qədər) nəzərə alan əmsaldır.

5) Meşə ehtiyatlarının tam qiymətinin hesablanması üçün yekun düstur aşağıdakı kimidir:

$$O = \frac{Q \cdot K_1 \cdot K_R \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5}{1 + K_1 \cdot (1 + K_R \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5)} \cdot \frac{V}{(1 + E_D)^{(A_f - A)}, \quad (11.40)$$

burada Q – meşə kompleksinin son məhsuluna olan qiymət; V – oduncaq ehtiyatı; E_D – diskontlaşdırma normativi; A_f – meşənin kəsilməsinin faktiki yaşı; A – konkret ağacın yaşıdır.

Beləliklə, meşə ehtiyatlarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsi vaxtı ilk əvvəl meşə ehtiyatlarının təkrar emalının ekoloji-iqtisadi səmərəsinin nəzərə alınması baş verir, onun faydalı funksiyasının qiymətliliyi isə ekoloji şərtləndirilən diskontlaşdırma normativlərinin istifadəsi və meşənin ekoloji qiymətliliyi əmsalının (meşələrin mühafizəsi qrupları və kateqoriyaları üzrə differensiallaşdırılmış) tətbiqi sayəsində əldə olunur.

Model vasitəsilə hesablama nümunəsi. Aşağıdakı verilənlər çərçivəsində müəyyən bir məntəqə yaxınlığında meşə kompleksinin ekoloji-iqtisadi rentasının (onun aşağı həddini və differensial rentanı) qiymətini hesablamaq və onun tam qiymətini vermək tələb olunur.

Model üçün giriş verilənləri bunlardır: - meşə kompleksinin son məhsulunun istehsalının maya dəyəri (C) -42900 ş.v./m³ (burada ş.v. – şərti vahid deməkdir); - oduncaq ehtiyatı (V) – 26000 m³; - diskontlaşdırma normativi (E_D) – 0,4; - meşənin ağaclarının kəsilməsinin faktiki yaşı (A_f) -45 il; - konkret ağacın yaşı (A) – 35 il; - meşə kompleksi məhsulunun səmərəli-

lik (rentabellik) əmsalı (K_1) – 1,8; - renta əmsalı (K_R) – 1,3; - oduncaq növünün təsərrüfat dəyərliyi əmsalı (K_2) – 2,5; - meşələrin ekoloji dəyərliyi əmsalı (K_3) – 1,7; - oduncağın irililik kateqoriyasını nəzərə alan əmsal (K_4) – 0,7; - oduncağın daşınıb çıxarılması məsafəsinə (istehlak və ya yükləmə məntəqəsinə qədər) nəzərə alan əmsal (K_5) – 1,1.

Həlli:

1) Ekoloji-iqtisadi renta belə hesablanır:

$$R^* = 26400 \cdot 1,8 \cdot 1,3 = 61776 \text{ (ş.v./m}^3\text{)}.$$

2) Differensial renta belə hesablanır:

$$R^{**} = 61776 \cdot (2,5 \cdot 1,7 \cdot 0,7 \cdot 1,1 - 1) = 140386 \text{ (ş.v./m}^3\text{)}.$$

3) Meşə ehtiyatlarının tam qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\begin{aligned} O &= \frac{42900 \cdot 1,8 \cdot 1,3 \cdot 2,5 \cdot 1,7 \cdot 0,7 \cdot 1,1}{1 + 1,8 \cdot (1 + 1,3 \cdot 2,5 \cdot 1,7 \cdot 0,7 \cdot 1,1)} \cdot \frac{26000}{(1 + 0,4)^{(45-35)}} = \\ &= \frac{328513}{10,46} \cdot \frac{26000}{1,4^{10}} = 31407 \cdot \frac{26000}{28,9} = 31407 \cdot 900 = \\ &= 28255433 = 2,8 \cdot 10^7 \text{ (ş.v.)} \end{aligned}$$

Model vasitəsilə hesablamaların nəticəsi: - ekoloji-iqtisadi rentanın qiyməti – 61776 ş.v./m³; - differensial rentanın qiyməti – 140386 ş.v./m³; - meşə kompleksinin tam qiyməti – 2,8·10⁷ ş.v.

11.6. Heyvanat aləminin və biomüxtəlifliyin resurslarının ekoloji-iqtisadi qiymətləndirilməsinin riyazi modeli

1) Burada heyvanat aləmi resurslarının miqdarının hesablanması “Ovçuluq və balıq ovu obyektlərinə və onların yaşayış mühitinə və heyvanat aləminin digər obyektlərinə aid olmayan obyektlərə və RF-nın “Qırmızı kitabına salınmış heyvanat aləminə vurulan zərərlərin hesablanması metodikası”na əsasən aşağıdakı düstur vasitəsilə həyata keçirilmişdir:

$$C_{AO} = (P_1 \times E_1 + P_2 \times E_2 + \dots + P_n \times E_n) \times Q, \quad (11.41)$$

burada P_1, P_2, \dots, P_n – bir növ heyvanların sayı, nüsxə.; E_1, E_2, \dots, E_n – həmin heyvan növünün 1 ədədinin normativ dəyəri, manat/nüsxə; Q – biomüxtəliflik əmsalındır (Simpson indeksi).

Simpson indeksi belə hesablanır:

$$Q = \sum_{i=1}^2 S_i \cdot \rho_i, \quad (11.42)$$

burada ρ_i – növün nisbi sayıdır, nüsxə.

2) Biomüxtəlifliyin iqtisadi qiymətləndirilməsinin əsasını istifadə etmə dəyəri (istehlak dəyəri) (use value) və istifadə etməmənin dəyəri (non-use value) kimi göstəricilərin hesablanması təşkil edir:

$$T_{EV} = U_V + N_{UV}, \quad (11.43)$$

burada T_{EV} – ümumi iqtisadi sərvət (dəyər); U_V – istifadə etmənin dəyəri; N_{UV} – istifadə etməmənin dəyəridir.

Öz növbəsində istifadə etmənin dəyəri aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$U_V = D_{UV} + I_{UV} + O_V, \quad (11.44)$$

burada D_{UV} – istifadə etmənin birbaşa dəyəri (direct use value); I_{UV} – istifadə etmənin dolayı dəyəri (indirect use value); O_V – sonraya saxlanılmış alternativin dəyəridir (option value).

Tez-tez istifadə etməmənin dəyəri ancaq mövcud olma dəyəri (existence value) ilə təyin olunur. Bəzi hallarda isə istifadə etməmənin dəyərinə varislik dəyəri (bequest value) daxil edilir.

Mövcud olma dəyəri ilk əvvəl cəmiyyət üçün təbiətin əhəmiyyətliyinin sosial aspektini əks etdirir. Beləliklə, nəzəri cəhətdən ümumi iqtisadi qiymətlilik (dəyərlilik) yuxarıda göstərilən düsturlar nəzərə alınmaqla, aşağıdakı kimi hesablanır:

$$T_{EV} = D_{UV} + I_{UV} + O_V + E_V + B_V, \quad (11.45)$$

burada E_V – mövcudluğun dəyəri; B_V – varisliyin dəyəridir.

Faktiki cəhətdən isə hesablamalar (11.45) düsturunun üç həddi üzrə aparılır:

$$T_{EV} = D_{UV} + I_{UV} + E_V. \quad (11.46)$$

XII FƏSİL. MEŞƏ EKOSİSTEMLƏRİNDƏ TƏBİİ YANĞIN TƏHLÜKƏLƏRİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNİN RİYAZI MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

12.1. Meşə yanğını təhlükəsi üzrə ABŞ-da hazırlanmış modelin əsasları

Məlumdur ki, meşə yanğınlarının yaranması ehtimalı meşədə yanğın materiallarının quruması prosesinə təsir edən bir sıra amillərlə təyin olunur və bunlardan ən əhəmiyyətli meteoroloji amillərdir. Lakin son dövrlərdə «yanğın təhlükəsi» anlayışının yeni məzmunu formalaşmışdır. Bu idarə olunmayan meşə yanğınları nəticəsində ziyanların vurulması təhlükəsidir. Belə təyinetmə yanğın təhlükəsi göstəricilərinin informativliyini əhəmiyyətli artırır, lakin eyni zamanda əlavə başlanğıc məlumatlar tələb edir.

Yanğın təhlükəsi üzrə ABŞ-ın milli reyting sistemi çıxış parametrlərinin aralıq və əsas qruplarını birləşdirən modeldən ibarətdir. Aralıq parametrlərə meşə yanacaq materiallarının (MYM) rütubət tutumu indeksləri aiddir və onlar canlı və ölmüş materiallar üçün ayrılıqda hesablanır və sonrakı hesablamalar üçün baza rolunu oynayır. Əsas parametrlərə isə alovun yayılma sürəti və yanğın vaxtı ayrılan istilik enerjisinin miqdarı aid edilir.

Əsas çıxış parametrləri alovun vahid yanma indeksində birləşdirilib. Canlı MYM-nin rütubət miqdarının hesablanması regiondan və cari meteoroloji şəraitdən asılı olaraq bitkilərin həyat dövrünün hər bir mərhələsində rütubətin miqdarının qiymətləndirilməsi vasitəsilə aparılır. Vacib xüsusiyyətlərdən biri odur ki, belə hesablamalar birillik və çoxillik bitkilər, həm də cavan ağac və kollar üçün ayrılıqda aparılır.

Ölmüş MYM-nin rütubət miqdarı – bu, 1, 10, 100 və 1000-saatlıq vaxt sürüşmələri ilə hesablanmış bitki, cavan ağac və kolların ölmüş üzvi qalıqlardakı rütubətliyin miqdarıdır.

Meşə yanğın təhlükəsini qiymətləndirmək üçün yanma indeksi (YI) anlayışından istifadə edilir. YI-si yanğın vaxtı alovun yayılma sürətindən və istiliyin miqdarından asılı olan göstəricidir və aşağıdakı düstur vasitəsilə hesablanır:

$$YI = 3,01 \cdot (V_{yan} \cdot EA)^{0,45}, \quad (12.1)$$

burada V_{yan} -yanğının yayılma sürəti, fut/dəq., meşə yanacaq materiallarının rütubət tutumu, küləyin sürəti, relyefin, nisbi rütubətliyin və yağıntılardan miqdarının funksiyasıdır; EA -enerji ayrılma, kCoul- vahid sahədə yanğın vaxtı ayrılan istiliyin miqdarıdır.

Hesablamaların nəticələrini ümumiləşdirmək üçün yekun yanğın yükü (YYY) indeksi daxil edilir. Bu indeks antropogen amilləri, yanma indeksini və ildırım fəaliyyətini birləşdirir:

$$YYY = 0,71 \cdot \sqrt{YI^2 + (IA + IF)^2}, \quad (12.2)$$

burada IA -insan amilinin təsiri; IF –ildırım fəaliyyətinin təsiridir.

İnsan amilinin və ildırım fəaliyyətinin təsirinin hesablanmasının əsasında alovlanma ehtimalı (B) və müvafiq olaraq insan amilinin təsiri risknin və ildırım fəaliyyəti səviyyəsinin düzəliş əmsallarının nəzərə alınması yerləşir. Alovlanma ehtimalı (B) belə hesablanır:

$$B = 0,01 \cdot B_1 \cdot B_2, \quad (12.3)$$

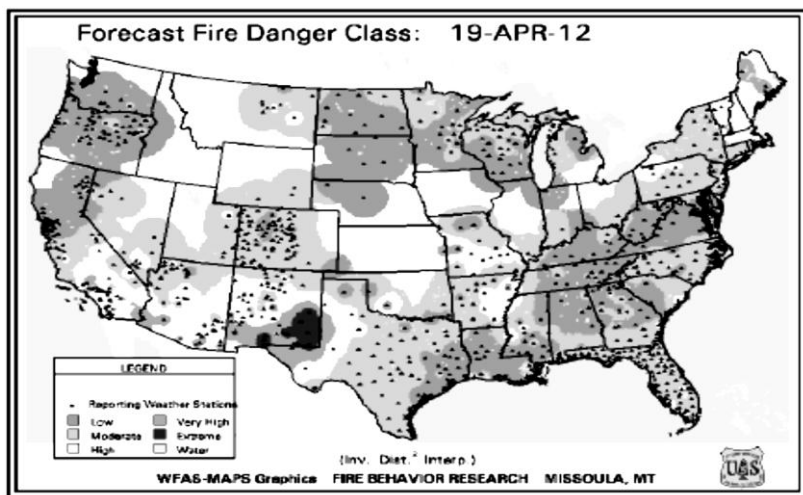
burada B_1 – alovlanmanın başlanması ehtimalı; B_2 – yanğının yayılması ehtimalıdır.

Bu model əsasında ABŞ-ın Meşə xidməti yanğın təhlükəsi dərəcəsi haqqında gündəlik hesabat hazırlayır (şəkil 12.1).

12.2. Meşə yanğın təhlükəsi üzrə Rusiyada işlənmiş riyazi modellər

Yanğın təhlükəsinin qiymətləndirilməsinin Rusiya sistemi G.N.Nesterovun metodiki yanaşmasına əsaslanmışdır. Sonrakı

dövrərdə tədqiqat istiqamətləri genişləndirilmiş, yeni metodiki əsaslar işlənmişdir. Bu vaxt onun yaranması təhlükələrinin ehtimalları hesablanır və alınan nəticələr təhlil olunur. Bunlara nümunə kimi Rusiyanın hidrometeoroloji mərkəzində işlənmiş və operativ praktikada tətbiq olunan meşələrdə yanğın təhlükəsinin kompleks göstəricisinin hesablanması metodikasını, Rusiyanın Avropa hissəsində meşə yanğınları riskinin qiymətləndirilməsi məqsədilə XXI əsrdə potensial iqlim dəyişmələrinin xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla və Nesterovun yanğın-təhlükəsi indeksi və regional model əsasında aparılan tədqiqatları göstərmək olar.



Şəkil 12.1. 19 aprel 2012-ci il tarixə ABŞ ərazisində meşə massivlərində yanğın təhlükəsi xəritəsi

Bu metodika və üsullarla hesablamalarda saat 13-15 rədlərində havanın temperaturunun, şəh nöqtəsinin, küləyin sürətinin və əvvəlki sutka ərzində düşən atmosfer yağıntılarının qiymətlərindən istifadə olunur. Yanğın təhlükələrinin indekslərinin siniflərə bölünməsi həyata keçirilir. Nesterovun metodikasına əsaslanmış və təkmilləşdirilmiş üsul Portuqaliyada me-

şələrdə yangın təhlükəsinin qiymətləndirilməsi üçün istifadə olunur.

Rusiyanın elm mərkəzlərində istifadə olunan və əsası V.Q.Nesterov tərəfindən işlənmiş yangın təhlükəsinin kompleks göstəricisi əsasında təkmilləşdirilmiş üsullardan birinin əsasını aşağıdakı düstur təşkil edir:

$$YTI_N = YTI_{N-1} \cdot K_R + [t \cdot (t - t_d)]_N, \quad (12.4)$$

burada YTI_N - cari gün üçün hesablanmış qiymət; YTI_{N-1} - əvvəlki gün üçün hesablanmış qiymət; $YTI_{N-1} = t \cdot (t - t_d) K_{oc}$ - atmosfer yağıntılarını nəzərə alan əmsal (atmosfer yağıntılarının miqdarı 3 mm-dən az olduqda 1-ə, çox olduqda isə 0-a bərabərdir); t - yerli vaxtla saat 12-15-də havanın temperaturu; t_d - həmin müddət üçün şəh nöqtəsinin temperaturu; $t - t_d$ - şəh nöqtəsi çatışmazlığıdır.

Nesterovun düsturunun digər təkmilləşdirilmiş forması isə belədir:

$$YTI = \sum K_V \cdot [t \cdot (t - t_d)]. \quad (12.5)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, Rusiyanın ayrı-ayrı regionları üzrə siniflər ümumi siniflərdən fərqlənə bilər və bunun üçün yerli xüsusiyyətləri nəzərə alan şkalalar işlənilmişdir.

Bu üsulun əsas çatışmayan cəhəti atmosfer yağıntılarını nəzərə alan əmsalın təqribiliyinin çox böyük olmasıdır. Bununla əlaqədar atmosfer yağıntılarının təsiri daha differensial formada nəzərə alınmaqla və meşədə səth örtüyünün rütubətliyi göstəricisi istifadə olunmaqla Nesterovun düsturunun digər təkmilləşdirilmiş variantı da işlənilmişdir. Bu düsturların birində atmosfer yağıntılarının miqdarı, digərində isə küləyin sürətinin təsirləri nəzərə alınır. Bunlarla bərabər, atmosfer yağıntılarının miqdarının nəzərə alınmasında böyük təqribilik mövcuddur. Həm küləyin sürətini, həm də atmosfer yağıntılarının miqdarını daha differensial formada nəzərə almaq üçün bu sahədə mövcud cədvəl məlumatları əsasında bizim tərəfdən aşağıdakı empirik

binomial tənliklər alınmışdır. Bu əlaqələrin korrelyasiya əmsalları 0,99 təşkil edir və demək olar ki, alınmış əlaqələr funksional xarakter daşıyır.

$$K_R = 0,00002 \cdot R^4 - 0,0011 \cdot R^3 + 0,0234 \cdot R^2 - 0,2127 \cdot R + 0,9533, \quad (12.6)$$

$$K_V = 0,00003 \cdot V^4 - 0,0011 \cdot V^3 + 0,0132 \cdot V^2 - 0,0086 \cdot V + 1,007, \quad (12.7)$$

burada R – atmosfer yağıntılarının sutkalıq miqdarı, mm; V-küləyin sürətidir, m/san.

Yuxarıda göstərilənlər əsasında aşağıdakı yekun dusturu yazmaq olar:

$$YTI_N = YTI_{N-1} \cdot K_R + [K_V \cdot t \cdot (t - t_d)]_N. \quad (12.8)$$

Yanğın təhlükəsinin kompleks göstəricisi ilin isti dövründə hər gün üçün aparılır. Hesablamalar qar örtüyünün yoxa çıxmasından başlayır. Əgər dayanıqlı qar örtüyü olmayıbsa, onda havanın temperaturunun yazda 0⁰C-dən yuxarı keçməsi tarixindən başlamaq olar. Alınan nəticələr artan istiqamətdə toplanır. Bu göstəricinin qiymətləri yağıntılar olmayan quru dövrdə, həm də yanğın təhlükəsini aradan qaldırmağa gücü çatmayan yağıntılı günlərdə artmağa başlayacaq, yanğın təhlükəsini aradan qaldırmağa gücü çatan yağıntılar düşərsə, onda kompleks göstəricinin qiymətləri yenidən sıfırdan başlayaraq hesablanmağa başlanılır.

YTI-nin alınmış ədədi qiymətlərinə və cədvəl 12.1-də verilmiş şkalalara görə yanğın təhlükəsinin sinfi və intensivliyi müəyyənləşdirilir.

Cədvəl 12.1-də verilən şkalalar hava şəraitinə görə universaldırlar və onların Rusiyadan əlavə MDB ölkələrində və Şərqi Avropada tətbiqi üçün yüksək yanğın təhlükəsinin yuxarı həddi 10000-dən 12000⁰-yə dək artırılmışdır.

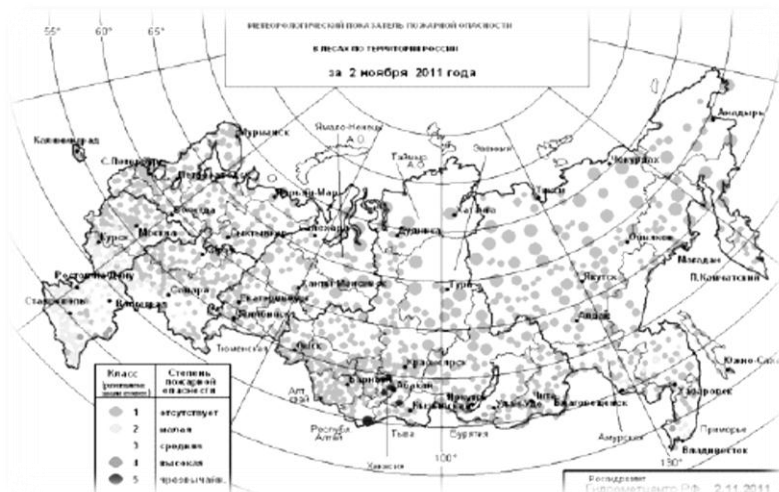
Bunlarla bərabər, daha detallaşdırılmış nəticələr almaq üçün hər bir baxılan ərazi və dövr üçün bu şkalaların hər birinə

düzəlişlər etmək olar. Bu model əsasında Rusiyanın bütün ərazisindəki və Moskva vilayətindəki meşə massivlərində yanğın-təhlükəliliyi barədə faktiki məlumatların təqdim olunma nümunələri şəkil 12.2 və 12.3-də göstərilmişdir. Məlumatlar Rusiyanın “Hidrometsentr” təşkilatı tərəfindən 2 noyabr 2011-ci il üçün hazırlanmışdır.

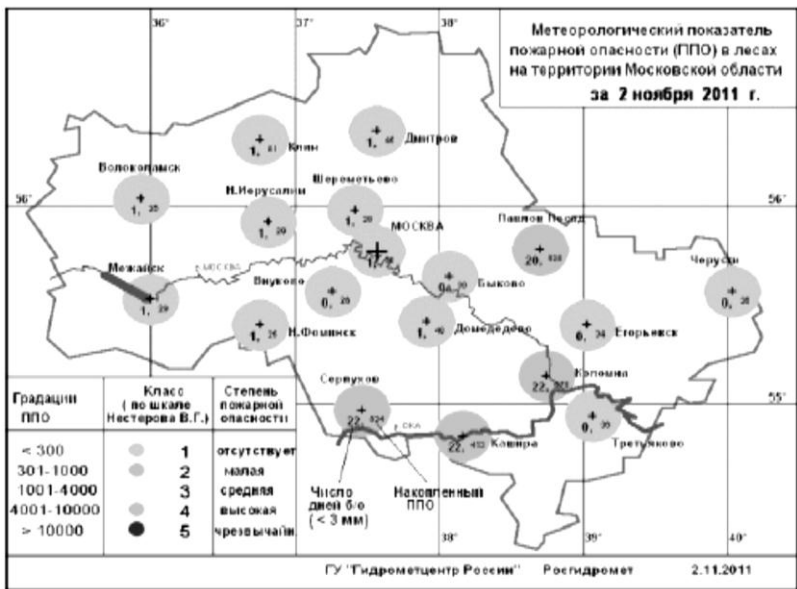
Cədvəl 12.1

Hava şəraitinə görə yanğın təhlükəsinin ümumrusiya şkalası

Yanğın təhlükəsi əmsalı (YTƏ)	Hava şəraitinə görə yanğın təhlükəsinin sinfi	Yanğın təhlükəsi dərəcəsi
300-ə qədər	I	Çox az
301-dən 1000-ə qədər	II	Az
1001-dən 4000-ə qədər	III	Orta
4001-dən 12000-ə qədər	IV	Yüksək
12000-dən çox	V	Fövqəladə



Şəkil 12.2. Rusiya ərazisindəki meşə massivlərində 2 noyabr 2011-ci il tarixinə meşə yanğını təhlükəsinin xəritəsi



Şəkil 12.3. Moskva vilayətindəki meşə massivlərində 2 noyabr 2011-ci il tarixinə meşə yanğını təhlükəsinin xəritəsi

12.3. Avstraliyada işlənmiş meşə yanğını təhlükəsi modeli

Yanğın təhlükəsini proqnozlaşdırmaq üçün Avstraliya meteoroloji bürosu Makarturun meşə yanğını təhlükəsi indeksindən istifadə edir. Bu indeksdə havanın nisbi rütubətliyinin, havanın maksimal temperaturunun, gün ərzində küləyin ortalaşdırılmış sürətinin qiymətlərindən və meşədə yanmaya məruz qalan materialların rütubətlik göstəricisindən istifadə olunur:

$$MYTI_N = 2 \cdot \exp \left[-0,45 + 0,987 \cdot \ln(SM) - 0,0345 \cdot NR + 0,0338 \cdot t_N + 0,0234 \cdot V \right] \quad (12.9)$$

burada $MYTI_N$ - cari gün üçün hesablanmış qiymət; SM - meşədə səth örtüyü materiallarının rütubətlik göstəricisi; NR – gün ərzində nisbi rütubətliyin minimal qiyməti, %; t_N - gün ərzində

havanın maksimal temperaturu $^{\circ}\text{C}$; V - gün ərzində küləyin sürətinin ortalaşdırılmış qiymətidir, km/saat.

SM meşədə səth örtüyü materiallarının alovlanmaya «hazır» olduğunu göstərir və aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$SM = \frac{1,9 \cdot [(T_{quru} + 104) \cdot (\Delta_n + 1)^{1,5}]}{3,52 \cdot (\Delta_n + 1)^{1,5} + (R_{24} - 1)}, \quad (12.10)$$

burada T_{quru} -torpağın quraqlıq göstəricisi (Kitç-Birama indeksi); Δ_n -sonuncu yağıntılardan sonra günlərin sayı; R_{24} – axırını 24 saat ərazində atmosfer yağıntılarının cəmidir, mm.

Kitç-Birama indeksi belə hesablanır:

$$(T_{quru})_N = \frac{0,001 \cdot \{800 - (T_{quru})_{N-1}\} \cdot [0,968 \cdot e^{0,046N} - 8,30] \cdot \Delta_n}{1 + 10,880 \cdot e^{-0,441R_d}} \quad (12.11)$$

burada $(T_{quru})_N$ -cari gün üçün torpağın quraqlıq göstəricisi;

$(T_{quru})_{N-1}$ -əvvəlki gün üçün torpağın quraqlıq göstəricisi;

R_d -baxılan ərazi üçün orta illik yağıntının miqdarıdır.

$MYTI_N$ -nün alınmış ədədi qiymətləri əsasında cədvəl 12.2-dəki yanğın təhlükəsi dərəcələrinin şkalalarına görə qiymətləndirilir. Məsələn, Tasmaniya adası üçün $MYTI$ -nin maksimal qiyməti 24 müəyyinləşdirilmişdir.

Cədvəl 12.2

Avstraliyada meşə yanğını təhlükəsi indeksinin şkalaları

$MYTI_N$	Yanğın təhlükəsi dərəcəsi
0,0-dan 5,0-a qədər	Az
5,1-dan 12,0-a qədər	Orta
12,1-dan 24,0-a qədər	yüksək
24,1-dan 50,0-a qədər	çox yüksək
50,0-dən çox	Ekstremal

Qeyd etmək lazımdır ki, Avstraliya meteoroloji bürosu hər ştat və yaşayış məntəqəsi üzrə yanğın təhlükəsi barədə gündəlik

məlumatlar dərc edir. Buna nümunə kimi, cədvəl 12.3-də verilən məlumatları göstərmək olar.

Cədvəl 12.3

19 aprel 2012-ci il tarixinə Cənubi Avstraliya ştatının bir sıra yaşayış məntəqələri üçün MYTİ-nin qiymətləri

Yaşayış məntəqəsi	Yağın təhlükəsi dərəcəsi
Adelaida	Orta
Riverlend	Orta
Qərb sahil	Çox yüksək
Flinders	Orta
Murreylends	Orta

12.4. Kanadada işlənmiş meşə yanğını təhlükəsinin qiymətləndirilməsinin riyazi modeli

Kanadada işlənmiş meşə yanğını təhlükəsinin qiymətləndirilməsinin riyazi modeli meşə yanğını təhlükəsinin reyting sisteminə əsaslanmışdır. Onun əsasını meteoroloji şəraitdən asılı olan meşə yanğın materiallarındakı (MYM) rütubətin miqdarı təşkil edir. Meşə yanğın materialları torpaq səthinə yatım və vahid sahəyə düşən çəkiyə görə fərqlənilirlər.

1) MYM_1 – torpaq səthinə yatımın aşağı dərinliyində (18 sm-ə qədər) və vahid sahədə çəkisi 25 kq/m^2 -ə qədər olan MYM-in rütubət miqdarının indeksi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$MYM_1 = 400 \cdot \ln\left(\frac{800}{OC}\right) + 0,5 \cdot (0,36 \cdot (t + 2,8)), \quad (12.12)$$

burada OC - son 24 saat ərzində atmosfer yağıntılarının miqdarı, mm; t – gün ərzində havanın maksimal temperaturudur, $^{\circ}\text{C}$.

2) MYM_2 – torpaq səthinə yatımın orta dərinliyində (7 sm-ə qədər) və vahid sahədə çəkisi 5 kq/m^2 -ə qədər olan MYM-in rütubət miqdarının indeksi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$MYM_2 = 244,72 - 43,43 \cdot \ln(BL_N - 20) + 1,894 \cdot (t + 1,1) \cdot (100 - NR) \cdot 10^{-4}, \quad (12.13)$$

burada NR – gün ərzində nisbi rütubətliyin minimal qiyməti, %; BL_N – baxılan meşə yangın materialının rütubət miqdarı əmsalındır.

Cari gün üçün BL_N aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$BL_N = BL_{N-1} + \frac{1000 \cdot K_{oc}}{48,77 + K_{MYM_2} \cdot K_{oc}}, \quad (12.14)$$

burada BL_{N-1} – əvvəlki gün üçün baxılan meşə yangın materialının rütubət miqdarı əmsalı; K_{oc} – atmosfer yağıntılarına düzəliş; K_{MYM_2} – MYM_2 -yə düzəlişdir.

K_{oc} əmsalı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$K_{oc} = \begin{cases} 0, & OC \geq 1,5 \text{ mm olduqda} \\ 0,92 \cdot OC - 1,27, & OC < 1,5 \text{ mm olduqda} \end{cases}, \quad (12.15)$$

K_{MYM_2} əmsalı aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$K_{MYM_2} = \begin{cases} \frac{100}{(0,5 + (MYM_2)_{N-1})}, & (MYM_2)_{N-2} \leq 33 \text{ olduqda} \\ 14 + 1,3 \cdot \ln((MYM_2)_{N-1}), & 33 < (MYM_2)_{N-1} \leq 65 \text{ olduqda} \\ 6,2 \cdot \ln((MYM_2)_{N-1}), & (MYM_2)_{N-1} > 65 \text{ olduqda} \end{cases} \quad (12.16)$$

burada $(MYM_2)_{N-1}$ – orta yatırım dərinliyində MYM -nin rütubət miqdarının əvvəlki günə hesablanmış indeksidir.

3) MYM_3 – torpaq səthinə yatırımın yuxarı dərinliyində (1,2 sm-ə qədər) və vahid sahədə çəkisi $0,025 \text{ kq/m}^2$ -ə qədər olan MYM -in rütubət miqdarının indeksi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$MYM_3 = 0,208 \cdot$$

$$\cdot \left\{ (91,9 \cdot \exp(0,05039 \cdot CB - 0,1386 \cdot BL_N)) \cdot \left(1 + \frac{BL_N}{493 \cdot 10^7} \right)^{5,31} \right\}, \quad (12.17)$$

burada CB - gün ərzində küləyin sürətinin maksimal qiyməti, km/saat; BL_N - cari gün üçün baxılan meşə yanğın materialının rütubət miqdarı əmsalıdır;

Yanğın təhlükəsinin yekun indeksi (YTYİ) müxtəlif növlü MYM-lərin rütubətliyinin və enerjinin ayrılması funksiyasıdır:

$$YTYI = EB \cdot K_{MYM1,2} \cdot MYM_3, \quad (12.18)$$

burada EB – enerjinin ayrılması, kVt/m; $K_{MYM1,2}$ – hesablamaların rahatlığı üçün MYM_1 və MYM_2 əmsallarını birləşdirən əmsaldır.

$K_{MYM1,2}$ əmsalı aşağıdakı düsturun köməyi ilə hesablanır:

$$K_{MYM1,2} = \begin{cases} \frac{0,8 \cdot MYM_1 \cdot MYM_2}{MYM_1 + MYM_2}, & MYM_1 \geq 0,04 \cdot MYM_2 \text{ olduqda} \\ MYM_2 - \left(1 - \frac{0,8 \cdot MYM_1}{MYM_2 + 0,04 \cdot MYM_1}\right) \cdot [0,92 + (0,0114 \cdot MYM_2)^{1,7}] & \\ MYM_1 < 0,04 \cdot MYM_2 \text{ olduqda} & \end{cases} \quad (12.19)$$

Cədvəl 12.4-də Kanadanın yanğın təhlükəsi indeksinin müvafiqlik şkalası verilmişdir.

Cədvəl 12.4

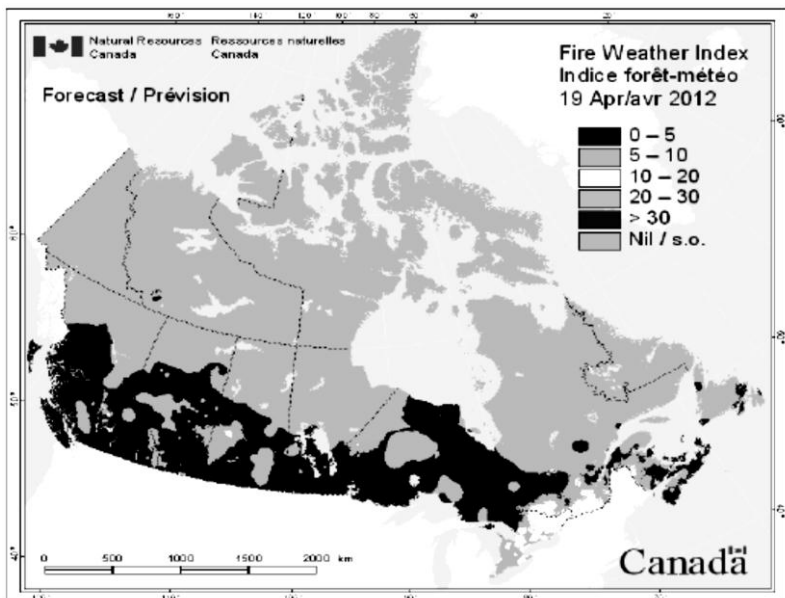
Kanadanın yanğın təhlükəsi indeksinin müvafiqlik şkalası

Yanğın təhlükəsi indeksi	Yanğın təhlükəsi dərəcəsi
0-dan 5,0-ə qədər	Aşağı
5,1-dan 10,0-a qədər	Orta
10,1-dan 20,0-yə qədər	Yüksək
20,1-dən 30,0-a qədər	Çox yüksək
30,0-dan çox	Böhran həddi

Qeyd etmək olar ki, yuxarıda təqdim olunan modeldən savayı, antropogen təsir və ildırım fəaliyyətinin təsiri səbəb-

lərinə görə alovlanmanın proqnozlaşdırılması indeksləri də işlənmişdir.

Yuxarıda göstərilmiş ölkələrdə olduğu kimi, Kanadada da yanğın təhlükəsi barədə gündəlik hesabatlar hazırlanır. Onlardan 19 aprel 2012-ci il tarixinə hazırlanmış xəritə -hesabat şəkil 12.4-də təqdim olunub.



Şəkil 12.4. Kanada ərazisində 19 aprel 2012-ci il tarixinə meşə massivlərində yanğın təhlükəliliyi

XIII FƏSİL. QLOBAL EKOLOJİ PROSESLƏRİN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

13.1. Qlobal ekoloji proseslərin modelləşdirilməsinin metodologiyası

Müasir dövrdə “İnsan və onun yaşadığı mühit” problemi bütün dünyada geniş müzakirə olunur. Əhalinin sayının artması, təbii ehtiyatların tükənməsi, insanların ətraf mühitə mənfi təsiri, bir çox inkişaf etməkdə olan ölkələrdə ərzaq məhsulları qıtlığı bu problemin əsas aspektlərini təşkil edir. Elmi-texniki tərəqqi şəraitində insanların ətraf mühitə təsirləri elə miqyas almışdır ki, onları təbiət prosesləri ilə müqayisə etmək olar. Artıq dönməz (bərpa olunmayan) mənfi nəticələrin (fəsadların) real təhlükəsi yaranmışdır. Buna görə də bəşəriyyətin inkişafını şərtləndirən bütün amillər toplusunun təsirinin öyrənilməsi və bu inkişafı şüurlu idarə etmə yollarının tapılması məsələsi ortaya çıxmışdır. Belə şəraitlərdə mürəkkəb sistemlərin inkişafının idarə edilməsinin təhlilinin vacib vasitəsi riyazi modelləşdirmə üsullarıdır.

İnsan cəmiyyətinin inkişafının ən vacib istiqamətinin kompleks tədqiqinin metodoloji bazası sistemli təhlildən ibarətdir. Qlobal modelləşdirmə metodologiyası isə müxtəlif həqiqi (real) sahələrin (oblastların) sistemli təhlil üsullarının bütün dünya sisteminin tədqiqinə ekstrapolyasiyasından ibarətdir.

Qlobal ekoloji proseslərin modelləşdirilməsi vaxtı çox böyük miqdarda amilləri, əsasəndə Yer kürəsinin məkan qeyri-bircinsliyini, fiziki və kimyəvi prosesləri, sənayenin inkişafı və əhalinin sayının artması ilə əlaqəli olan antropogen təsirləri nəzərə almaq lazımdır.

Belə qlobal modellərin mənası ondan ibarətdir ki, onlar ayrı-ayrı proseslərin və regionların Yer kürəsində maddənin və enerjinin ümumi balansında payını qiymətləndirməyə və bu qlobal göstəricilərin lokal proseslərə təsirinin tərs (əks) məsələsini həll etməyə imkan verir. Çoxsaylı amillərin və əlaqələrin belə hərtərəfli nəzərə alınması müasir hesablama texnikasından

və geoinformasion texnologiyalardan istifadə etməklə məkana görə qeyri-bircins sistemin minlərlə qarşılıqlı əlaqələri və on və yüz minlərlə amillər barədə bilikləri özündə cəmləşdirən modellər çərçivəsində mümkündür.

Ekoloji proseslərin qlobal təsvirini formalaşdırmağın ilk cəhdi amerikalı tədqiqatçı C.Forrester tərəfindən başlanmışdır. Onun hazırladığı kvazimodel ancaq iki ekoloji parametri, yəni əhalinin sayını və mühitin çirklənmə dərəcəsini özündə cəmləşdirmişdir. Model bir tərəfdən bu parametrlərin dinamikasının təsirlərini, digər tərəfdən isə iqtisadi inkişaf tempini qiymətləndirməyə imkan vermişdir. Ətraf mühitin çirklənmə dərəcəsi isə müəyyən bir ölçüsüz kəmiyyətlə (“çirklənmə səviyyəsi” adlandırılmışdır) xarakterizə edilmişdir. Modelə iki hipotetik asılılıq daxil edilmişdir: -“çirklənmə səviyyəsi”nin istehsal olunmuş məhsulun həcmindən (və ya kapitalın həcmindən) asılılığı; -doğum və ölüm hallarının əhalinin maddi təminatlığından və ətraf mühitin çirklənməsi dərəcəsindən asılılığı.

Müasir qlobal problemlərin xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, onlar biosferin təbii təkamülü prosesinin mürəkkəb superpozisiyasından ibarət olmaqla bərabər, həm də son onilliklərdə intensivliyi təbii proseslərin intensivliyi ilə müqayisə oluna bilən insan fəaliyyətinin təsirlərini də özündə cəmləşdirir. Buna görə də qlobal təbii ekoloji proseslərin modellərinə insan fəaliyyəti ilə əlaqəli olan modellər də daxil edilməlidir. Təbii ki, problemin belə mürəkkəbləşməsi müəyyən sadələşdirilmə, parametrisasiya mümkünlüyünü inkar etmir.

Həqiqətən də, bu gün insanları maraqlandıran vaxt intervalı yaxın onilliklər, müstəsna halda isə 100-illik dövr ola bilər. Buna görə də qlobal ekoloji proseslərin öyrənilməsi üçün sistemli təhlil üsulları ən təbii alətdir və onsuz keçinmək olmaz. O, eyni zamanda həm təhlil vasitəsidir, həm də öz təbiətinə görə çox müxtəlif formalı prosesləri öyrənən insanların səyini birləşdirməyi bacaran dildir. Qlobal modellərin qurulması bəşəriyyətin inkişafının müxtəlif ssenarilərində iqlimin qlobal və

lokal dəyişmələrini, temperaturu, bitki örtüyünün növünü və s. qiymətləndirməyə imkan verir.

13.2. Roma klubunun modellərinin əsasları

Roma klubu dünyada tanınmış iş adamlarının, dövlət xadimlərinin və alimlərinin beynəlxalq qrupudur və dünyada baş verən qlobal proseslərin mövcud və gələcək vəziyyətinin qiymətləndirilməsində qeyri-formal fəaliyyətlə məşğul olmuşdur. Onların təklifi ilə bu istiqamətdə aparılan ilk tədqiqatlar 1960-cı illərin sonlarından başlanmışdır.

Qlobal miqyasda proqnozların işlənilməsinin metodoloji əsasını riyazi modelləşdirmə üsulları, ilk əvvəl isə C.Forresterin sistemli dinamika üsulları (*Principles of systems. 1968, World Dynamics, 1971*) təşkil etmişdir. C.Forrester sadə, lakin lazımı qədər hərtərəfli riyazi model qurmuşdur. Bu model kobud formada dünya üzrə proseslərin beş əsas qarşılıqlı asılı dəyişən kəmiyyətlərin köməyi ilə imitasiya etməyə imkan vermişdir. Bu dəyişən kəmiyyətlərə əhalinin sayı, kapital qoyuluşunun həcmi, bərpa olunmayan ehtiyatların istifadəsi, ərzaq məhsullarının istehsalı və ətraf mühitin çirklənməsi aid edilmişdir.

Sonralar C.Forresterin ideyaları əsasında “World-1” modeli qurulmuşdur. Model seçilən dəyişən kəmiyyətlər arasında qarşılıqlı əlaqələri təsvir edən 42 qeyri-xətti tənlik vasitəsilə təsvir edilmişdir. Bu işlərin nəticələri 1972-ci ildə “*D.Meadows et al. The limits to Growth*” kitabında dərc edilmişdir. Kitab dünyada sensasiyaya səbəb olmuşdur. Baxılan modeldə Yer kürəsinə vahid bir sistem kimi baxılır və burada əhalinin sayının, sənaye kapitalının, ərzaq məhsullarının istehsalının və ətraf mühitin çirklənməsinin artması ilə əlaqəli olan proseslər baş verir.

Bu proseslərin qarşılıqlı təsirlərinin modelləşdirilməsinin yekunları, nəticələri belə bir kifayətləndirməyən nəticələrə gətirib çıxartmışdır ki, əgər əhalinin sayının, sənayeləşdirmə sürətinin, ətraf mühitin çirkləndirilməsi intensivliyinin, ərzaq

məhsulları istehsalının və təbii ehtiyatların tükənməsinin mövcud tendensiyaları dəyişməz qalarsa, onda Yer planetində əhəlinin artımının son həddinə yaxın onilliklər ərzində çatılacaq. 2030-2050-ci illərdə isə bəşəriyyətin ölüb getməsi ya demografik fəlakət, ya da ətraf mühitin fəvqəladə çirklənməsi səbəbindən baş verəcək.

Bundan sonra tez bir zamanda professor D.Medeuz bir qrup alim ilə “World-1” modelini təkmilləşdirmiş və ona “World-2” və ya “cəmiyyətin sabitləşdirilməsi modeli” adı verilmişdir. Bu modelə aparılmış hesablamaların nəticələrinə görə 1975-ci ildən sonra əhəlinin artımı sifirə bərabər olmalı, sənayeyə kapital qoyuluşu amortizasiya xərclərinə bərabər götürülməlidir. Eyni zamanda ehtiyatlardan təkrar istifadə və tullantısız texnologiyanın tətbiqi məsələləri də modelə daxil edilmişdir. Alınan əsas proqnostik nəticə isə sabitliyin qalacağı və bu vaxt dünyada adambaşına düşən istehsal səviyyəsi 1970-ci ildəki orta dünya göstəricisindən üç dəfə çox olacağıdır.

Modelin “World-3” variantında ilkin şərtlər “World-2” modelindəki kimidir, lakin stabilləşmə 1975-ci il yox, 2000-ci ildən başlayacaq. Alınan proqnoz isə belədir: sabitliyə nail olunmur, ərzaq çatışmazlığı 2100-ci ilə qədər özünü biruzə verməyə başlayacaq.

1980-ci illərin ortalarına “dünya modelləri” adını almış 15-dən çox qlobal proqnozlar işlənmişdir. Onlardan ən çox tanınanlara və maraqlılarına C.Forresterin “Dünya dinamikası” modelini, D.Medeuzun həmmüəlliflərlə hazırladığı “Artım limitləri” modelini, M.Mesaroviç və E.Pestelin “Bəşəriyyət dönüş nöqtəsində” modelini, A.O.Erreranın “Bəriçolenin latın amerikası modeli”ni, V.Leontyevin “Dünya iqtisadiyyatının gələcəyi” modelini, Britaniyanın “Dünya 2000-ci ildə. Prezidentə məruzə” SARUM modelini, FUGI yapon modelini, Birləşmiş Millətlər Təşkilatının UNWM modelini və digərələrini aid etmək olar.

M.Mesaroviç (ABŞ) və E.Pestel (AFR) “World-3” modelini mexaniki bir model kimi tənqid edərək, “kibernetik” modelin qurulması məsələsini irəli sürmüşlər. Onun qurulmasının əsas prinsipləri üç tezisdə formalaşdırılmışdır:

1. İnsanın ətraf mühitlə qarşılıqlı təsirlərini əks etdirən mürəkkəb proseslərin modeli çoxsəviyyəli iyerarxik sistemlər nəzəriyyəsinə əsaslanmalıdır;

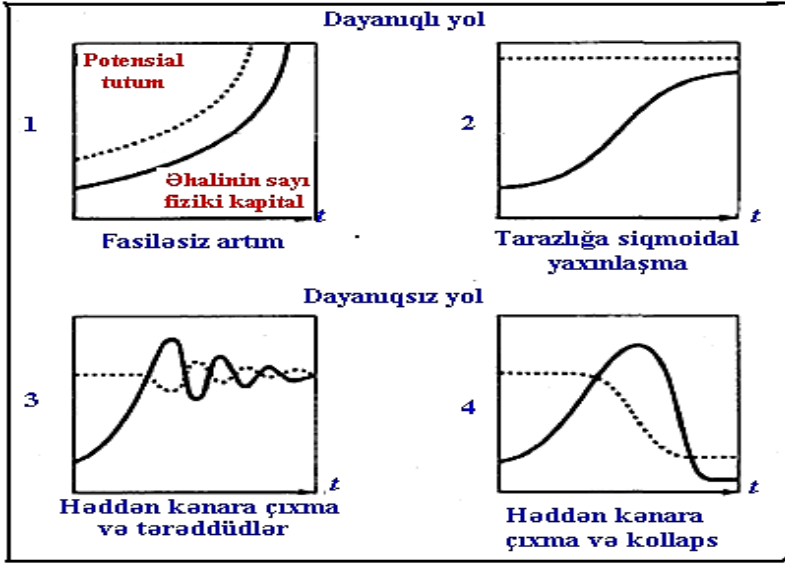
2. Model idarə edilən olmalıdır, yəni, özünə qərarların qəbul edilməsi prosesini daxil etməlidir, bu isə insanın dünya sisteminin inkişafına şüurlu təsiri mümkünlüyünü nəzərə almağa imkan verir. Bunun üçün modelin tədqiqatçısı ilə EHM arasında dialoq rejimində işi təmin etmək lazımdır.

3. Dünyaya vahid bircins tamlıq kimi yox, inkişaf, məskunlaşma və s. səviyyəsi ilə fərqlənən qarşılıqlı təsirdə olan sistem kimi baxmaq lazımdır.

Mesaroviç – Pestel modelində dünyanın bütün ölkələri onların sosial-iqtisadi strukturlarına və inkişaf səviyyələrinə görə 10 regionda birləşdirilmişdir. Hər bir region regional altmodellərlə təsvir olunur, onların strukturu bütün regionlar üçün eyni, fərq isə başlanğıc məlumatlarda və modelin parametrlərindədir. Regionlar arasında əlaqə əhalinin miqrasiyası, məhsulun idxalı və ixracı vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Bu model “Bəşəriyyət dönüş nöqtəsində” modeli adlanmış və onun vasitəsilə çox maraqlı nəticələr alınmışdır. Burada qeyd olunmuşdur ki, ekoloji təhlükələrin əsas səbəbi iqtisadi sistemi keyfiyyətcə yenidən qurmadan kəmiyyətcə eksponensial artıma cəhdlərin göstərilməsidir. Eyni zamanda vurğulanmışdır ki, bütün dünya sisteminin balanslaşdırılmış məhdud artımı vaxtı ekoloji fəlakət təhlükəsi bir müddət arxaya çəkiləcək.

Sonrakı illərdə yuxarıda göstərilmiş modellərin müəyyən hissəsi üzərində işlər davam etdirilmişdir. Onlarda hər bir prosesi xarakterizə edən bloklar əhəmiyyətli dərəcədə daha ətraflı işlənmiş, müxtəlif sahə mütəxəssislərinin keçmiş illərdə əldə etdiyi yeniliklər barədə məlumatlar modellərə daxil edilmişdir.

Məsələn, belə modellərdən birinin vasitəsilə alınan nəticələr lazımi qədər populyar formada *Donella Meadows, Dennis Meadows, Jorgen Randers "Beyond the Limits"* (1994) kitabında şərh edilmişdir. Dünya əhalisinin sayının mümkün ola bilən səviyyəyə çatmasının mümkün yolları şəkil 13.1-də göstərilmişdir.



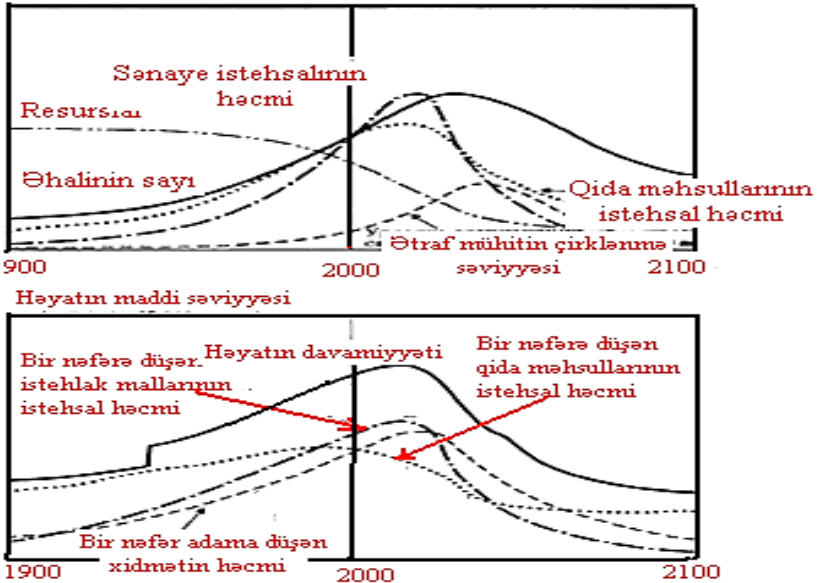
Şəkil 13.1. Dünya əhalisinin sayının mümkün ola bilən səviyyəyə çatmasının mümkün yolları

Müasir dövrdə mövcud olan tendensiyaların saxlanılması halında dünya sisteminin inkişaf proqnozu şəkil 13.2-də təqdim olunmuşdur.

Şəkil 13.2-dan görüldüyü kimi, dünya sisteminin inkişaf proqnozu şəkil 13.1-dəki dördüncü ssenariyə, yəni “limitdən kənara çıxma” və kollapsa müvafiqdir.

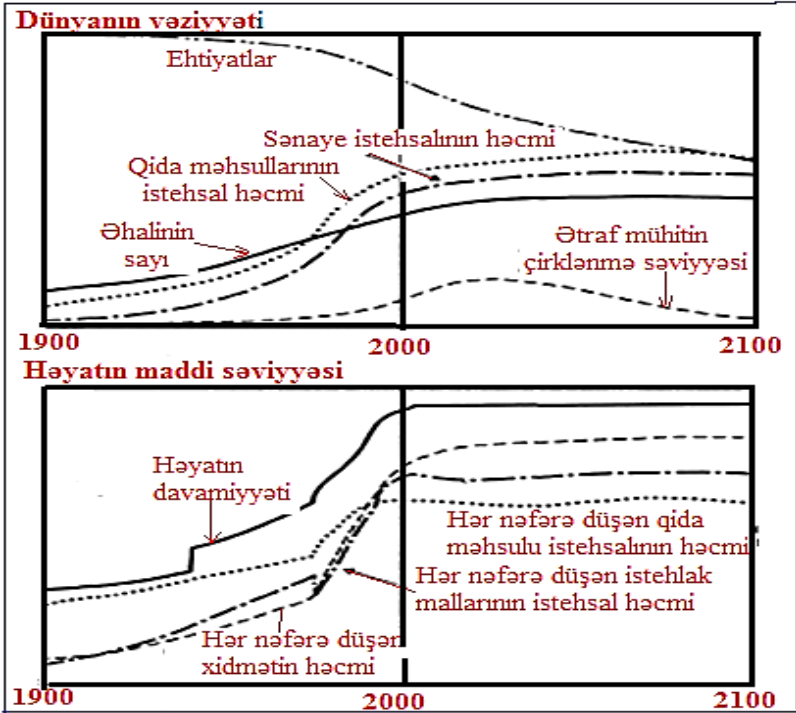
Dayanıqlı tarazlıq vəziyyətinə monoton yaxınlaşma ssenarisinin həyata keçməsi üçün isə (şəkil 13.1 2-ci əyri), planetin əhalisinin sayının və sənaye istehsalının həcmində stabilləşdiril-

məsi, çirkləndirici maddələrin tullantılarını, torpağın eroziyasını azaldan və təbii ehtiyatlardan istifadənin səmərəliliyini artıran texnologiyaların tətbiqi proqramları həyata keçirilməlidir (şəkil 13.3). Belə bir rəy mövcuddur ki, əhalinin sayının stabilləşdirilməsi demoqrafik keçid adlanan və cəmiyyətin sistemli inkişafı prosesi səbəbindən baş verə bilər.



Belə növ modellərin proqnozları həm də dünya əhalisinin sayının azalmasının (və ya stabilləşməsinin” böhran tarixinin 2030-cu ilə yaxın bir dövrdə olacağını verir. Mümkündür ki, əhalinin sayı təxminən 2100-cü ilə qədər artmaqda davam edəcək və bu dövrün sonunda 12-14 mlrd. nəfər olacaq. Bunlara baxmayaraq, enerjiqoruyucu texnologiyaların tətbiqi üzərində işlərin aparılması, təbii ehtiyatlardan vəhşicəsinə istifadəyə

qarşı və ətraf mühitin mühafizəsi uğurunda mübarizə bəşəriyyətin sağ qalıb ölməməsinin zəruri şərti olaraq qalır.



Şəkil 13.3. Planetin əhalisinin sayının və sənaye istehsalının həcmiminin stabiləşdirilməsi, çirkləndirici maddələrin tullantılarını, torpağın eroziyasını azaldan və təbii ehtiyatlardan istifadənin səmərəliliyini artıran texnologiyaların tətbiqi proqramlarının qəbulu halında qlobal göstəricilərin inkişafı

13.3. Biosferdə qlobal proseslərin imitasion modelləri

Biosferdə qlobal proseslərin imitasion modelləri biosfer miqyasında antropogen amillərin təsiri altında ekosistemlərin komponentlərinin (məsələn, biogeokimyəvi dövranların) dəyişmələrinin təsviri üçün hazırlanmış modellərdir.

Qlobal biosfer proseslərinin modelləşdirilməsi prinsipləri barədə onu demək olar ki, insan fəaliyyətinin istənilən modelinin əsasında *saxlanma qanunları* olmalıdır. Bu qanunlar insan fəaliyyətinin ən əhəmiyyətli tərəflərini təyin edən terminlərdə formalaşmalıdır. Məsələn, sosial makrosistemlərin öyrənilməsi vaxtı saxlanma qanunları iqtisadi terminlərdə formalaşmalıdır. Bu qanunlar iqtisadiyyatda yaxşı məlumdur və balans nisbətləri adını daşıyır. Lakin, belə nisbətlər qapalı modelin qurulması planı üçün kifayət etmir, belə ki, bir çox kəmiyyətlərin (məsələn, qiymətlər səviyyəsi, investisiyaların strukturu və s.) qiymətlərini balans nisbətlərindən təyin etmək mümkün deyil. Belə çətinliklərə biotik səviyyənin təsvirində də rast gəlinir. Lakin, biotik sistemdə modelin qapalılığını təmin etmək üçün ya əks əlaqələri təyin edən trofik, ya da rəqabət funksiyalarından istifadə etmək kifayətdir.

Təbiət proseslərinin təsviri vaxtı vəziyyət xeyli çətinləşir. Belə ki, insan öz fəaliyyətinin nəticələrini proqnozlaşdırır, informasiyanın emalı proseslərini təşkil edir. Beləliklə, maddənin, enerjinin və hərəkətin yenidən formalaşması proseslərinin təsviri ilə bərabər eyni zamanda informasiyon prosesin modelinə malik olmaq lazımdır. Biosfer proseslərinin modelinin konseptual strukturu şəkil 13.4-də təqdim olunmuşdur.

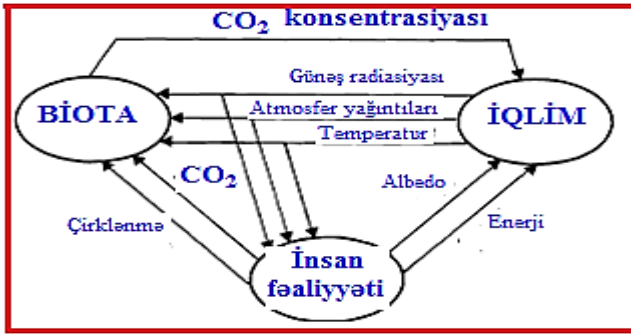


Şəkil 13.4. Biosfer proseslərinin modelinin konseptual strukturu

Biosferin dəyişməsinin ilk qlobal modellərindən biri rus alimi V.F.Kostının (1935) modeli olmuşdur. Biogeokimyəvi dövranların modelləri ilə Krapivin məşğul olmuşdur. EHM-nın yaradılması isə bəşəriyyət üçün çox vacib olan mürəkkəb problemlərin təhlilinə imkan yaratmışdır. Ümumplanetar problemlərin bəşəriyyətin qlobal problemlərinin EHM-də modelləşdirilməsinin köməyi ilə öyrənilməsinə əsaslanmış “qlobalistika” elmi yaranmışdır.

XX əsrin 70-ci illərinin sonunda - 80-ci illərinin başlanğıcında Rusiyalı akademik N.N.Moiseyevin rəhbərliyi altında biosferin qlobal modeli versiyası yaradılmışdır.

Qlobal biosfer modeli üç hissədən ibarətdir: iqlim, bioloji və insan fəaliyyəti modelləri. Bu modellər biosferin qarşılıqlı təsirdə olan hissələri kimi informasiya axınları ilə əlaqələndirilə bilər. Biosfer modelinin 1-ci variantı biosfer proseslərinin sistemli təhlil metodologiyası əsasında işlənmişdir. Bu variantda informasiya axınlarının sxemi şəkil 13.5-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 13.5. Qlobal biosfer modelinin üç hissəsi Arasında informasiya axını sxemi

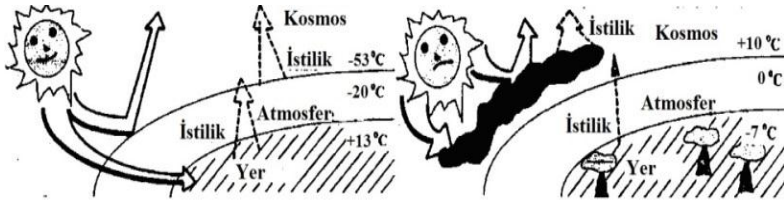
İnsan fəaliyyəti modelinin giriş məlumatları qismində havanın temperaturunun, atmosfer yağıntılarının və günəş radiasiyasının orta qiymətləri (regional və fəslə aspektlər üçün) istifadə olunmuşdur. Modelin çıxış informasiyası isə - enerjinin,

CO₂-nin və digər çirkləndiricilərin antropogen enerji ayrılımları, həm də albedonun antropogen dəyişmələridir.

İqlim modelinin giriş məlumatları CO₂-nin atmosferdə konsentrasiyası, enerjinin antropogen ayrılması və albedonun antropogen dəyişmələridir. İqlim modelinin çıxış informasiyası, insan fəaliyyəti modelinin giriş məlumatlarını təşkil edir.

Bioloji modelin giriş məlumatları iqlim modelinin çıxışı məlumatlarından, həm də CO₂-nin və digər çirkləndiricilərin ayrılması, çıxış məlumatı isə atmosferdə CO₂-nin konsentrasiyasından ibarətdir.

Bu modelin köməyi ilə “*lokal atom bombası münaqişəsi*” ssenarisi təhlil edilmiş, “*atom bombası müharibəsi qışı*” effekti təsvir edilmiş və biosferdə qlobal dəyişikliklərin proqnozu verilmişdir. “Lokal atom bombası münaqişəsi” ssenarisində biosferin fəaliyyətinin modelləşdirilməsi vaxtı aydın olmuşdur ki, irimiqyaslı təsirlərdən sonra biosfer heç vaxt öz əvvəlki vəziyyətinə qayıtmayacaq. Hər buna oxşar təsirdən sonra o, yeni biosfer olacaq və onun parametrləri bir qayda olaraq bəşəriyyətin sonrakı inkişafı imkanlarını istisna edir. “Lokal atom bombası münaqişəsi” ssenarisində alınmış effektlərin illyustrasiyası şəkil 13.6-da verilmişdir.



Şəkil 13.6. “Lokal atom bombası münaqişəsi” ssenarisində alınmış effektlərin illyustrasiyası (temperatur torpaq səthi, atmosferin orta və yuxarı təbəqələri üçün göstərilmişdir)

Biosfer elementlərinin qlobal biogeokimyəvi dövrəninin əsasları. Biosferin bütün elementləri daima və qanunauyğun formada maddələr və enerji mübadiləsini həyata keçirərək öz

aralarında qarşılıqlı təsirdədirlər. Kimyəvi elementlər və onların birləşmələri arasındakı mübadiləni isə məşhur rus alimi V.İ.Vernadski *biogeokimyəvi dövranlar* adlandırmışdır. Onlar Yer kürəsində həyatın öz-özünü saxlamasının əsasını təşkil edir. Canlı orqanizmlərin həyat fəaliyyəti prosesində istifadə olunan bütün kimyəvi elementlər canlı orqanizmlərdən cansız təbiətin birləşmələrinə və əksinə keçməklə, daima yerdəyişmə hərəkətləri edirlər. Buna görə də Günəş enerjisindən istifadə etməklə və bitki və canlı orqanizmlərdən keçməklə kimyəvi elementlərin bir qeyri-üzvi mühitdən digərinə dövrəni *biogeokimyəvi dövran* adlandırılır.

Biogeokimyəvi dövrandə maddələrin iki növ ehtiyatını ayırmaq olar: 1) mübadilə fondu – daima dövrandə olan hissədir; 2) ehtiyat fondu – dövrandə iştirak etməyən, lakin lazım gələrsə, dövrəyə daxil edilə bilən hissədir.

Biogeokimyəvi dövrləri atmosferdə və hidrosferdə ehtiyat fondu olan *qazların dövrəsinə* (karbon qazı, azot, oksigen) və yer qabığındakı ehtiyat fondu olan *çöküntü dövrəsinə* (fosfor, dəmir, kükürd, su və s.) ayırırlar.

Yer kürəsində maddələrin qlobal biogeokimyəvi dövrəni saat mexanizminin detallarına analogi bir-biri ilə əlaqəli olan ayrı-ayrı elementlərin mürəkkəb qarşılıqlı bağlı dövriyyələrindən olan sistemdir (şəkil 13.7).

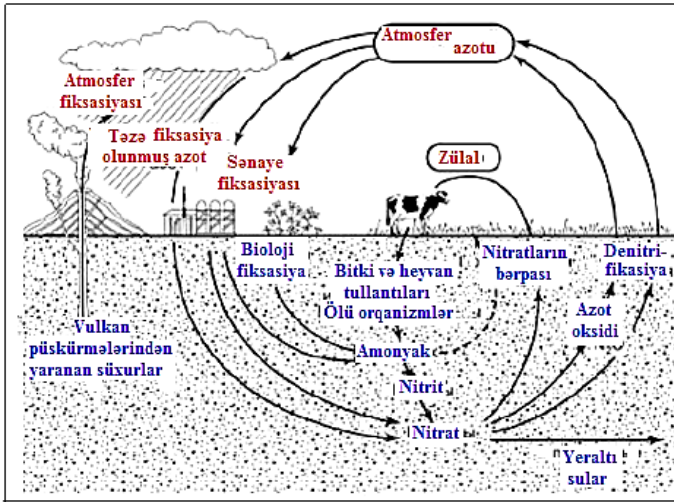
Karbon və azotun qlobal dövrəsinin ekoloji əhəmiyyəti. Məlumdur ki, *karbon* kimyəvi element kimi canlı həyatın əsasını təşkil edir. Biogeokimyəvi dövrandə isə onun Yer kürəsində olan miqdarının cüzi hissəsi iştirak edir. Karbon atmosferdə CO₂-nin, daha az miqdarda isə metanın CH₄ tərkibinə daxildir. Bu qaz hidrosferdə suda həll olunmuş şəkildədir və onun ümumi miqdarı atmosferdəkindən olduqca çoxdur. Atmosferdə CO₂-nin tənzimlənməsinin güclü bufer rolunda okean çıxış edir. Belə ki, havada onun konsentrasiyası artarkən, okean suyu tərəfindən onun udulması da artır. Atmosferin və hidrosferin karbon qazı karbonun dövrəsində (şəkil 13.8) mübadilə

CO₂-nin torpaqdan atmosferə qayıtması xüsusilə fəal baş verir. Torpaqda üzvi maddələrin mineralaşması prosesləri ilə paralel olaraq karbonla bol olan mürəkkəb və dayanıqlı molekulyar birləşmə olan humus əmələ gəlir. Torpağın humusu karbonun quruda ən vacib rezervuarlarından biridir.

İndiki zamanda karbonun ehtiyat fondundan biosferin mübadilə fonduna daşınmasının güclü amilinə yeraltı yanacağın çıxarılması və yandırılması aiddir.

Atmosferdə və canlı maddədə Yer kürəsində olan bütün azotun 1:25-dən az hissəsi cəmləşmişdir, lakin elə bu hissə planetdə həyatı saxlayır. Bitki toxumalarında onun karbonla nisbəti orta hesabla 1:30, dəniz yosunlarında isə 1:6-yadır. Buna görə də azotun biogeokimyəvi dövrəni karbonla sıx əlaqəlidir.

Atmosferdəki molekulyar azot bitkilər üçün əlçatmazdır, onlar bu elementi ancaq amonyak, nitrat ionları formasında və ya torpaq və ya su məhlullarından mənimsəyə bilirlər. Buna görə də azot çatışmazlığı ilkin məhsulu məhdudlaşdıran amildir. Bunlara baxmayaraq atmosfer azotu bioloji dövrəyə geniş formada prokariotik orqanizmlərin (azotu özündə yığa bilən orqanizmlər) fəaliyyəti hesabına cəlb olunurlar (şəkil 13.9).



Şəkil 13.9. Biosferdə azotun dövrəni sxemi

Müasir dövrdə insanların fəal təsərrüfat fəaliyyəti biosferdə min illərlə formalaşmış maddələr dövrünün kəskin qlobal dəyişməsinə gətirib çıxarır. Bunlara nümunə kimi, atmosferdə CO₂-nin miqdarının qlobal artmasını, qlobal iqlimin antropogen dəyişmələrini, ekosistemlərin fəaliyyətinin pozulmasını, meşələrin qırılmasını, torpaqların eroziyasını və s. aid etmək olar. Bütün bunlar isə iqtisadiyyatın inkişafı və biosfer ehtiyatlarının istifadəsi strategiyasının dəyişdirilməsini zəruri edir. İnsan və biosferin qarşılıqlı təsirlərinin mümkün fəsadlarının tədqiqi və proqnozlaşdırılması problemi və təbii ehtiyatlardan səmərəli istifadə məsələsi biosferdə irimiqyaslı proseslərin öyrənilməsinə tələb edir. Müasir riyaziyyat belə dinamik sistemlərin öyrənilməsinin səmərəli vasitəsi rolunda çıxış edir. Bunlarla bərabər, insan cəmiyyətinin taleyi üçün vacib ola bilən mənfi fəsadlar güclü formada müzakirə edilir və elmi əsaslandırılmış proqnozlaşdırma tələb edir. Bütün bunlar qlobal biogeokimyəvi dövrünün riyazi modelləşdirilməsini şərtləndirir. Biosfer proseslərinin tədqiqi üçün biogeokimyəvi dövrünün elementləri olan karbon, azot və s. barədə məlumatlardan istifadə olunur.

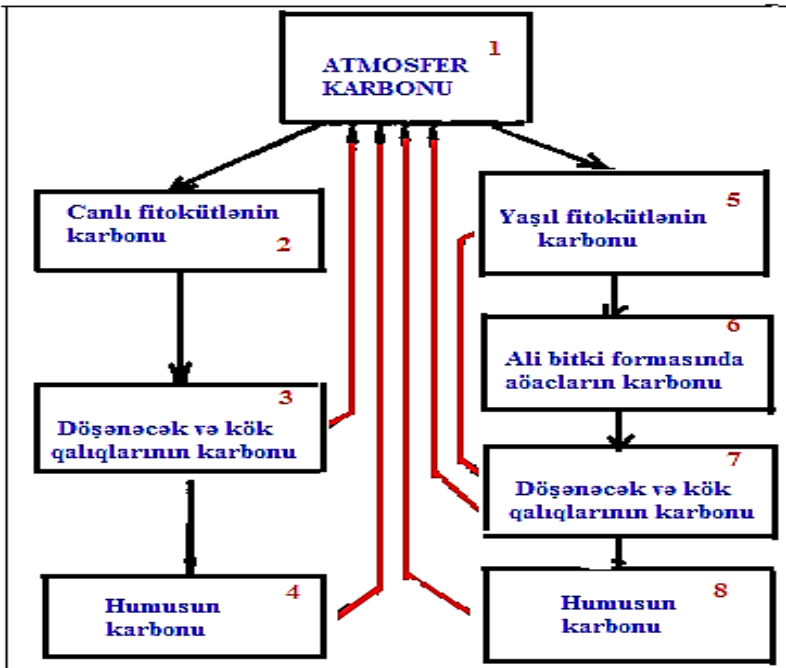
Qlobal biosfer proseslərinin təhlili vaxtı karbonun dövrünə xüsusi diqqət yetirilir, belə ki, o, ekosistemlərdəki proseslərin kəmiyyət indikatoru rolunu oynayır. Digər tərəfdən isə CO₂ planetin iqlimini xarakterizə edir. Azot da biosfer proseslərinin indikatorudur.

“Atmosfer-bitki-torpaq” sistemində karbon və azotun qlobal dövrünün modelləri. Problemin aktuallığını nəzərə alaraq, bu sahədə Rusiya və Qərbi ölkələrində aparılan tədqiqatların nəticələri barədə məlumatlar dərslərin tərtib olunmasında istifadə edilmişdir.

Onlardan biri rus alimi A.M.Tarkonun hazırladığı “atmosfer-bitki-torpaq” və “atmosfer-okean” sistemlərində karbon və azotun qlobal dövrünün riyazi modelləridir. Aşağıda nəzəri xarakter daşıyan bu modellərin əsasları verilmişdir.

Atmosfer-bitki-torpaq sistemində karbon qazının qlobal dövrəni (ABT-1) modeli, baxılan sistemə müxtəlif (ilk növbədə isə antropogen) təsirlər vaxtı onun özünü necə aparmasının və əks reaksiyalarının tədqiqi məqsədilə işlənmişdir. Bu vaxt atmosferlə okean arasında CO₂ mübadiləsi ya sabit, ya da məlum formada dəyişən kimi qəbul edilmişdir. Modeldə baxılan vaxt intervallarında (on və yüz illər) təsiredici amillər olmadığından baxılan sistemdə CO₂ – nın miqdarı dəyişmişdir. Həm də hesab olunmuşdur ki, antropogen dövrə qədər (adətən 1860-cı ilə qədər olan dövr qəbul edilib) sistem stasionar vəziyyətdə qalmışdır.

“Atmosfer-bitki-torpaq” sistemi iki ot və meşə ekosistemlərinin cəmi kimi təqdim olunub (şəkil 13.10).



Şəkil 13.10. ABT-1 modelində karbon qazının qlobal dövrəni sxemi

Modelin təsviri C.Forresterin sistemli dinamika terminlərində verilib. Bu vaxt şəkil 13.10-da təsvir olunmuş səviyyələrdə CO₂-nin miqdarı Y_i ilə işarə olunub, burada i – müvafiq səviyyənin ($i=2, \dots, 8$) nömrəsidir. C_1 – atmosferdə CO₂ –nin miqdarıdır. CO₂-nin i səviyyəsindən j səviyyəsinə daxil olması V_{ij} ilə ifadə olunub. C_1 , Y_i və V_{ij} kəmiyyətlərinin başlanğıc qiymətləri C_1^0 , Y_i^0 və V_{ij}^0 kimi verilib. ΔT – Yer səthi üzərində havanın qlobal temperaturunun orta qiymətinin müasir qiymətindən meyletməsidir. Vaxta görə addım 1 ildir. Modeldə CO₂ axınları üçün aşağıdakı ifadələr təklif olunub.

1) Bitkilər tərəfindən atmosferdəki CO₂-dən istifadə sürətinin (illik məhsul) ifadəsi belədir:

$$V_{li} = \begin{cases} P_i = f_i \left(1 + \frac{a_i}{100} \Delta T \right) \cdot \left(1 + \frac{\partial_i}{10} \left(\frac{C_1}{C_1^0} - 1 \right) \right) \cdot S_i \\ P_i \leq k_i V_{li}^0 \\ i = 2, 5 \\ k_i V_{li}^0, \quad P_i > k_i V_{li}^0 \end{cases} \quad (13.1)$$

burada $i=2, 5$ indeksləri müvafiq olaraq ot ekosisteminə və meşə ekosisteminə aiddir; f_2 və f_5 – qlobal temperaturun və atmosferdəki CO₂-nin müasir qiymətlərinə müvafiq olaraq ot və meşə ekosistemlərinin məhsuldarlığı; S_2 və S_5 – müvafiq olaraq ot və meşə ekosistemlərinin nisbi sahələrinin qiymətləri; a_i və ∂_i – havanın temperaturunun 1⁰C və CO₂-nin miqdarının 10% artması halında müasir dövrə nisbətən həmin ekosistemlərin məhsuldarlığının neçə faiz artacağını göstərir; k_i - əmsallardır və məhsuldarlığın mümkün artma sərhədlərini təyin edir (onun qiymətləri aşağıdakı diapazonlarda yerləşir: $1 \leq \partial_2$; $\partial_2 \leq 9$; $-4 \leq a_2$; $a_5 \leq 15$).

2) Meşə ekosistemlərində oduncaqların (ağacın qabığı altındakı bərk hissəsi) və kök sisteminin quruması sürəti belə hesablanır:

$$V_{\partial 7} = \begin{cases} mY_6, & Y_6 \leq k_6 Y_6^0 \text{ olduqda} \\ VY_{56}, & Y_6 > k_6 Y_6^0 \text{ olduqda} \end{cases}, \quad (13.2)$$

burada m – oduncağın və köklərin qurumasının xüsusi intensivliyi; k_6 – oduncağın və köklərin biokütlələrinin mümkün ola bilən artmasını göstərir.

3) Ot və meşə ekosistemlərinin humuslarının parçalanmasının müvafiq sürətlərini belə yazmaq olar ($i=4, 8$ -müvafiq olaraq ot və meşə ekosistemləri):

$$V_i = \begin{cases} f_i \exp\left(\frac{\ln Q}{10} \Delta T\right) Y_i, & \exp\left(\frac{\ln Q}{10} \Delta T\right) \leq k_i, \\ & i = 4, 8 \\ f_i k_i Y_i, & \exp\left(\frac{\ln Q}{10} \Delta T\right) > k_i, \end{cases} \quad (13.3)$$

burada f_4 və f_8 – müasir şəraitdə ot və meşə ekosistemlərinin humuslarının parçalanmasının xüsusi intensivliyi; Q - əmsaldır və havanın temperaturunun 10^0C dəyişməsi vaxtı parçalanma sürətinin neçə dəfə dəyişəcəyini göstərir (müşahidə olunan qiymətləri $1,6 \leq Q \leq 2,9$); k_i - əmsaldır və temperaturun elə maksimal hədlərini göstərir ki, ondan yuxarı temperatur şəraitində parçalanma sürəti artmır; V axını sənaye mənbələrindən (üzvi maddə yanacaqlarının yandırılması) atmosfərə daxil olan CO_2 -nin miqdarını təsvir edir.

ABT-1 modelini tam təsvir etmək üçün əlavə hipotez qəbul olunmuşdur. Buna görə, əgər müəyyən bir funksional blokdan (3, 5, 7 nömrəli səviyyələrdən) çıxan CO_2 axını iki yerə bölünərsə, onda onların intensivliklərinin nisbəti praktiki olaraq sabit qalacaq. Beləliklə, göstərilən fərziyyələri və V_{12} , V_{15} , V_{67} , V_{81} , V_{41} axınları üçün olan ifadələrdən istifadə etməklə ABT sistemini C_1 , Y_4 , Y_6 və Y_8 dəyişənləri üçün dörd adi differensial tənliklər sistemi ilə təsvir etmək olar.

“Atmosfer-bitki-torpaq” sistemində karbon qazının və azotun qlobal dövrəni (ABT-2) modeli “atmosfer-bitki-torpaq” qlobal sisteminin bitkilərin mineral qidalanmasının roluna reaksiyasını keyfiyyətcə və kəmiyyətcə qiymətləndirməyə imkan verir. Modelin dəyişən kəmiyyətləri (Forrester terminologiyasında səviyyələri) aşağıdakılardır: C_1 – atmosferdə karbon qazının miqdarı; C_2 – bitkilərdə karbon qazının miqdarı; C_3 – humusda karbon qazının miqdarı; N_2 – bitkilərdə azotun miqdarı; N_4 – bitkilərin mənimsəyəcəyi formada humusda azotun miqdarı; VC_{ij} və VN_{ij} vasitəsilə karbon qazının və azotun i səviyyəsindən j səviyyəsinə daxil olması göstərilib; başlanğıc səviyyələr və sürətlər belə ifadə olunub: C_i^0 , N_i^0 , VC_{ij}^0 , VN_i^0 . V – yanacaqın yandırılmasından atmosfərə daxil olan CO_2 ; V_N – azotun mənimsənilmə formasına gəlməsi; V_P – mənimsənilə bilən azotun ABT sistemindən getməsidir (bu vaxt $V_P = V_D + V_B$, burada V_D – denitrifikasiya nəticəsində azotun atmosfərə getməsi; V_B – azotun okeana çıxarılması). Vaxta görə addım 1 ildir. Həmçinin lazımi dəqiqliklə göstərilmişdir ki, bitkilərdə CO_2 -nin miqdarının azotun miqdarına nisbəti sabit qalır. Bundan sonra modelin tənliklərini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

-bitkilərin illik məhsulunun formalaşmasına sərf olunan karbonun miqdarı üçün:

$$VC_{12} = K_2 F_2 f_1(\Delta T) f_2(C_1/C_1^0) f_3(A/A^0), \quad (13.4)$$

burada F_2 – başlanğıc vəziyyətdə bitkinin illik məhsulu; A – mənimsənilmə formasına gələn azotun miqdarı; A^0 – başlanğıc vaxt anında A -nın qiyməti; f_1 , f_2 , f_3 funksiyaları bitkinin illik məhsulunun temperaturdan, atmosferdə CO_2 -nin miqdarından və mənimsənilmə formasına gələn azotun miqdarından asılılıqlarını ifadə edirlər. Bu funksiyalar qeyri-xəttidir, yəni ABT-1 modelinə nisbətən daha çox təsir edən amilləri nəzərə alır. Onlar üçün aşağıdakı ifadələr təklif olunmuşdur:

$$f_1(\Delta T) = 1 + \frac{\alpha}{100} \Delta T \left(1 - \frac{\Delta T}{2T_{ma}} \right), \quad f_2 \left(\frac{C_1}{C_1^0} \right) = 1 + \frac{\delta}{10} \left(\frac{C_1}{C_1^0} - 1 \right),$$

$$f_3 \left(\frac{A}{A^0} \right) = \frac{A/A^0}{(1-\gamma) \cdot A/A^0 + \gamma}, \quad (13.5)$$

burada α , δ və γ - bitkilərin illik məhsuldarlığının müvafiq olaraq temperaturdan, atmosferdə CO₂-nin miqdarından və mənimlənmə formasına gələn azotun miqdarından asılılıqlarını ifadə edirlər; T_{ma} – elə temperaturdur ki, digər amillərin sabitliyi şəraitində illik məhsuldarlıq maksimaldır.

Modelin qurulması vaxtı hesab olunmuşdur ki, bitkilərin quruması intensivliyi onların biokütləsinə mütənəssibdir, bitkilərdən atmosfərə və humusa keçən karbon axınlarının nisbəti və bitkilərdən humusa və mənimlənmə formasına keçən azot hissələrinin nisbətləri sabitdir. Həmçinin qəbul edilmişdir ki, humusun karbonunun və azotunun parçalanması bir-birindən asılı olmayan xüsusi sürətlərlə baş verir. Karbon və azot axınları üçün tənliklərdən, bu və digər fərziyyələrdən istifadə etməklə ABT sistemi dörd adi differensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunmuşdur.

“Atmosfer-bitki-torpaq” sistemində karbon qazının qlobal dövranının məkanca paylanmış (ABT-3) modeli antropogen təsirlərin qurunun ayrı-ayrı ekosistemlərinə təsirinin fəsadlarını təyin edilməsi və onların antropogen təsirlərin nəticələrinin nə qədər zəiflədilməsinin qiymətləndirilməsi məqsədlə işlənmişdir. ABT-3 modelində planetin bütün ərazisi 4⁰ coğrafi enlik və 5⁰ coğrafi uzunluğa malik xanalarə bölünmüşdür. Qurunun hər bir belə xanası 30 növ bitki formasıyısından birinə və ya bitki olmayan əraziyə aid edilmişdir. Model adi differensial tənliklər sistemi ilə təsvir edilib. Bu vaxt qəbul olunmuşdur ki, bitkilərin illik məhsulu, humusun miqdarı stasionar vəziyyətdədir və humusun parçalanmasının xüsusi intensivliyi aşkar formada ekosistemin növündən asılı deyil. Beləliklə, ABT sistemində kar-

bonun dinamikasını aşağıdakı tənliklər sistemi ilə təsvir etmək olar:

$$\begin{cases} B_i = P(T_i, P_i) \left(1 + \frac{\delta}{10} \left(\frac{C}{C^0} - 1 \right) \right) - m_i B_i, \\ D_i = \varepsilon m_i B_i - H(T_i, P_i) D_i, & i = 1, \dots, I, \\ C = - \sum_{i=1}^I \left(P(T_i, P_i) \left(1 + \frac{\delta}{10} \left(\frac{C}{C^0} - 1 \right) \right) - (1 - \varepsilon) m_i B_i - H(T_i, P_i) D_i \right) \sigma_i + V \end{cases} \quad (13.6)$$

burada B_i – canlı bitki biokütlesində vahid səthə düşən karbonun miqdarı; D_i – torpağın humusunda vahid səthə düşən karbonun miqdarı; C – atmosferdə karbonun miqdarı; σ_i – Yer kürəsində ayrılmış hər bir xananın sahəsi; T_i – baxılan xanada yer səthi üzərində havanın orta illik temperaturu; P_i – baxılan xanada yer səthi üzərində atmosfer yağıntılarının illik miqdarı; C^0 – C -nin başlanğıc qiyməti; $\Phi = P(T_i, P_i) \left(1 + \frac{\delta}{10} \left(\frac{C}{C^0} - 1 \right) \right)$ – bitkinin va-

hid sahəsinə düşən illik məhsul; m_i , ε , δ – əmsallar; V – yanacaqın yanması nəticəsində karbonun antropogen daxil olmasıdır.

“Atmosfer-bitki-torpaq” sistemində sənaye çirklənmələrinin təsiri nəzərə alınmaqla karbon qazının qlobal dövranının (ABT-4) modeli biosferə iki ən əsas antropogen təsirlərin (karbonun atmosfərə atılması və atmosferin antropogen çirklənməsi) birgə təsirini qiymətləndirmək məqsədilə işlənmişdir. Modelləşdirmə obyektini kimi “atmosfer-meşə bitkiləri-torpaq” qlobal sistemində karbonun dövranına baxılmışdır.

Modelin qurulması vaxtı meşə bitkiləri ilə əhatə olunan bütün ərazi sahələri S_1 və S_2 olan iki hissəyə bölünmüşdür. Bu vaxt hesab edilmişdir ki, çirklənmə ancaq S_2 sahəsinə təsir edir və bu təsir bir kompleks göstərici (P , bal, $P=0$ olduqda çirklənmənin olmaması, $P=10$ isə çirklənmənin maksimal olması başa düşülür) ilə xarakterizə olunur. Modelin faza dəyişən kəmiyyətləri bunlardır: Z_1, Z_4, Z_5, Z_8, Z_9 – müvafiq olaraq atmosferdə, bitkilərin kökündə, çirklənməmiş ərazidə, çirklənmiş ərazidəki

humusda və çirklənməmiş ərazidəki humusda karbonun miqdarı; V_{ij} – karbonun i səviyyəsindən j səviyyəsinə axını; Z_i^0, V_{ij}^0 - müvafiq olaraq başlanğıc vaxt anında Z dəyişənlərinin və V axınlarının qiymətləridir. Modeldə vaxta görə addım bir ildir.

Modeldə çirklənmələrin ekosistemlərə təsirinin aşağıdakı effektləri nəzərə alınmışdır: ağacların illik məhsulunun azalması; humusun parçalanma intensivliyinin azalması; yarpaqların tökülməsinin artması; çirklənmənin təsiri altında bitkilərin kök sisteminin pozulması nəticəsində humusun yuyulub aparılması; torpaqda qida maddələrinin miqdarının azalması. Çirklənmiş və çirklənməmiş ərazilərdə illik məhsul aşağıdakı kimi modelləşdirilir:

$$V_{12} = \begin{cases} P_2 = \Phi(Z)H_1(P)L(Z_8)S_2, & P_2 \leq k_2V_{12}^0 & \text{olduqda} \\ k_2V_{12}^0, & P_2 > k_2V_{12}^0 & \text{olduqda} \end{cases} \quad (13.8)$$

$$V_{13} = \begin{cases} P_3 = \Phi(Z)L(Z_9)S_1, & P_3 \leq k_3V_{13}^0 & \text{olduqda} \\ k_3V_{13}^0, & P_3 > k_3V_{13}^0 & \text{olduqda} \end{cases} \quad (13.9)$$

burada $\Phi(Z)$ – atmosfer karbonunun və temperaturunun illik məhsula təsirini əks etdirən funksiyadır.

$H_1(P)$ funksiyası belə hesablanır:

$$H_1(P) = \max\left(\frac{a^{-(P/b)^2} - a}{1 - a}, 0\right), \quad (13.10)$$

burada a və b - əmsallardır.

$L(Z_8)$ funksiyası belə hesablanır:

$$L(Z_8) = \max\left(\min\left(1 + c\left(\frac{Z_8}{Z_8^0} - 1\right), \gamma\right), 0\right), \quad (13.11)$$

burada c, γ ($\gamma > 1$) - əmsallardır.

Hesab olunur ki, oduncaqların və ağac köklərinin quruması intensivliyi onların biokütlələrinə mütənəsbdir.

Çirklənmə şəraitində humusun parçalanma intensivliyi ləngiyir və bu proses $H_8(P)=1-d_8 \cdot P^2$ funksiyası ilə təsvir olunur. Müvafiq axın isə bu formada yazılır:

$$V_{81} = f_8 \exp\left(\frac{\ln Q}{10} \Delta T\right) Z_8 H_8(P), \quad (13.12)$$

burada f_8 , Q , d_8 - əmsallardır.

Təbii şəraitdə humusun dağılma intensivliyi onun miqdarına mütənasibdir və havanın temperaturundan asılıdır.

Atmosfer-okean sistemində karbon və azotun qlobal dövranı modeli. Modelin hazırlanması vaxtı okean dərinliyə görə iki su qatına bölünmüşdür: dərinliyi 200 m olan səth təbəqəsi və daha dərin təbəqə. Aşağıdakı şərti işarələr daxil edilmişdir: C_1 – atmosferdə karbonun miqdarı. Səth təbəqəsində olan karbon və azot öz növbəsində canlı biokütləyə daxil olan (C_6 , N_6), ölü üzvi maddələrdəki (C_7 , N_7) və həll olunmuş qeyri-üzvi karbon və azot (C_5 , N_5) kimi hissələrə bölünmüşdür. Daha dərin okean qatında isə ancaq canlı biokütləyə daxil olan (C_9 , N_9) və qeyri-üzvi karbon və azot (C_8 , N_8) kimi hissələrdən ibarətdir. Karbon və azot axınlarının i səviyyəsindən j səviyyəsinə daxil olması VC_{ij} və VN_{ij} ilə ifadə olunub. Başlanğıc qiymətləri C_1^0 , N_i^0 , VC_{ij}^0 və VN_{ij}^0 kimi verilib. ABT sistemindən qeyri-üzvi azotun okeanın səth təbəqəsinə axını V_B , yanacaqın yandırılmasından atmosfərə daxil olan karbon axını isə V ilə göstərilmişdir. ΔT – atmosferin orta qlobal temperaturunun sənaye dövrünə qədər olan qiymətindən meyletməsi; ΔT_m – okeanın səth hissəsinin orta qlobal temperaturunun sənaye dövrünə qədər olan qiymətindən meyletməsidir. Modelin qurulması vaxtı hesab olunmuşdur ki, “atmosfer-okean” sistemi sənayeləşdirmə dövrünə qədər taraz vəziyyətdə olmuşdur və bu vəziyyət modelin başlanğıc vəziyyəti kimi qəbul edilmişdir. ΔT -nin C_1 –dən asılılığı ABT-1 modelindəki kimidir. Bu şərtlər çərçivəsində modelin axın tənlikləri aşağıdakı kimi verilmişdir.

1) Okean biotasının məhsuldarlığı belə ifadə olunub:

$$VC_{56} = P_6 \left(1 + \frac{\alpha_m}{100} \Delta T_m \right) \cdot \left(1 + \gamma_m \left(\frac{N_5}{N_5^0} - 1 \right) \right),$$

$$VN_{56} = \frac{VC_{56}}{K_6}. \quad (13.13)$$

burada α_m və γ_m – məhsuldarlığın müvafiq olaraq suyun temperaturundan və səth hissəsindəki qeyri-üzvi azotdan asılılıqlarını ifadə edirlər; P_6 – okeandakı canlı maddələrin hesablamada dövrünün başlanğıcındakı qiymətidir.

Modeldə ΔT canlı orqanizmlərin ən çox cəmləşdiyi okean hissəsinə aid edilmiş və baxılan hesablamada dövrü üçün $\Delta T_m = \Delta T$ götürülür.

2) Karbon qazının müxtəlif mühitlərdə daşınması prosesləri aşağıdakı ifadələrlə təsvir olunub:

$$V_{AS} = k_{15}(p_A - p_S), \quad VC_{15} = k_{15}p_A, \quad VC_{51} = k_{15}p_S, \quad (13.14)$$

burada V_{AS} – karbonun atmosfer-okean sərhədindən daşınması; p_A – okean səviyyəsində karbonun parsial təzyiqi (atmosferdə karbonun ümumi kütləsinə mütənasibdir və mütənasiblik əmsalı temperaturdan asılıdır); p_S – okeanın səth hissəsində həll olunmuş karbonun parsial təzyiqidir.

Karbon üçün hal tənliyindən və bu qazın konsentrasiyasının hündürlüyə görə dəyişməməsi fərziyyəsindən istifadə etməklə aşağıdakı ifadə alınır:

$$p_A = k_0 \cdot C_1 \cdot (273 + T_a + \Delta T), \quad (13.15)$$

burada T_a – atmosferin orta global temperaturudur ($^{\circ}\text{C}$).

Okeanın səth hissəsində həll olunmuş karbonun parsial təzyiqi p_S suda həll olunmuş karbonun konsentrasiyasına mütənasibdir:

$$p_S = (CO_2) / \alpha_S, \quad (13.16)$$

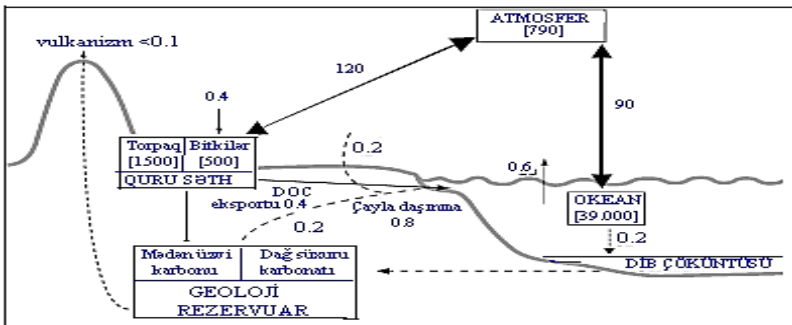
burada α_S - əmsaldır.

Yuxarıda göstərilənlər və digər mülahizələr nəzərə alınmaqla “atmosfer-okean” sistemi atmosferə karbonun atılmaması

halında onun miqdarının sabit qalması kimi əlavə şərti də qəbul etməklə, 10 adi differensial tənliklər sistemi ilə təsvir olunmuşdur. Model vasitəsilə hesablama eksperimentləri göstərmişdir ki, atmosfərə atılan karbon okean tərəfindən udulur. Həmçinin göstərilmişdir ki, okean biotasının karbonu atmosferdən udmasında rolu azdır. “Atmosfer-okean” sistemi atmosferin qızmasını kompensasiya etməyə qadir deyil.

Karbonun global dövrününün işarə və ya ideal modeli. 1-ci fəsildə modelləşdirmənin təsnifatında işarə modeli barədə geniş məlumat verilmişdir və orada qeyd olunmuşdur ki, belə model baxılan simvollar əlifbasının və simvollar üzərində əməliyyatların köməyi ilə sistem-orijinalın şərti təsvirindən ibarətdir və nəticədə müəyyən bir dilin sözləri və cümlələri alınır, onlar isə müəyyən kodların köməyi ilə sistem-originalın bir sıra xassələrinin xəyalı və onlar arasında əlaqələr kimi interpretasiya olunur. Ekoloji modelləşdirmə üçün daha münasib olan modellər ideal modellərdir, onlar orijinalın sözlə və ya onlar üzərində orijinalın tədqiq olunan xüsusiyyətlərini əks etdirən simvol və əməliyyatlar vasitəsilə təsvirindən ibarətdir.

Bu aspektdə karbonun global dövrününün işarə və ya ideal modelinin əsaslarına baxılmışdır. Onlar şəkil 13.11-də təsvir olunmuşdur. Bu modellərdə karbonun miqdarı (PgC) və onların axınları (PgC/il) barədə məlumatlar 1980-ci illərə aiddir.



Şəkil 13.11 a. Karbonun təbii dövrününün başlıca komponentlərinin işarə modeli

(a) *Təbii dövrənin başlıca komponentləri.* Karbonun təbii dövrəninə başlıca komponentləri şəkil 13.11 a-da göstərilmişdir. Şəkil 13.11 a-da qalın oxlar atmosferdə karbonun müasir balansını nöqtəyənəzərdən qurunun biosferinin ilkin məhsuldarlığı və nəfəs alması və hava və dəniz arasında fiziki mübadilə kimi ən vacib axınları göstərir.

Bu axınlar hər il təxminən balanslaşdırılmış olur, lakin, balansın pozulmasında bir neçə illərdən yüz illiklərə qədər konsentrasiyası əhəmiyyətli dəyişən atmosfer CO₂-nin rolu ola bilər. Nazik oxlar daha uzun vaxt intervalında əhəmiyyətli olan əlavə təbii axınları (qırıq-qırıq xətlər CaCO₃ kimi karbon axınlarını göstərir) təsvir edir. 0.4 PgC/il miqdarında karbonun atmosferdən bitki örtüyü vasitəsilə torpağa daxil olması torpaqdakı karbonu böyük zaman miqyasında çaylardan ayrılan həll olunmuş üzvi karbonla (DOC) təxmini olaraq balanslaşdırır. 0.4PgC/il miqdarındakı həll olunmuş qeyri-üzvi karbon (DIC) CaCO₃ aşınmasından alınır. DOC və DIC axınları birlikdə çay nəqliyyatının payını (0.8 PgC/il) göstərir. Vulkan fəaliyyəti nəticəsində karbonun emissiyası 0.02-dən 0.05 PgC/il -ə qədər qiymətləndirilmişdir.

(b) *İnsan fəaliyyətinin təsiri.* İnsan fəaliyyəti ilə əlaqədar olaraq karbon dövrəni şəkil 13.11 b-də göstərilmişdir.

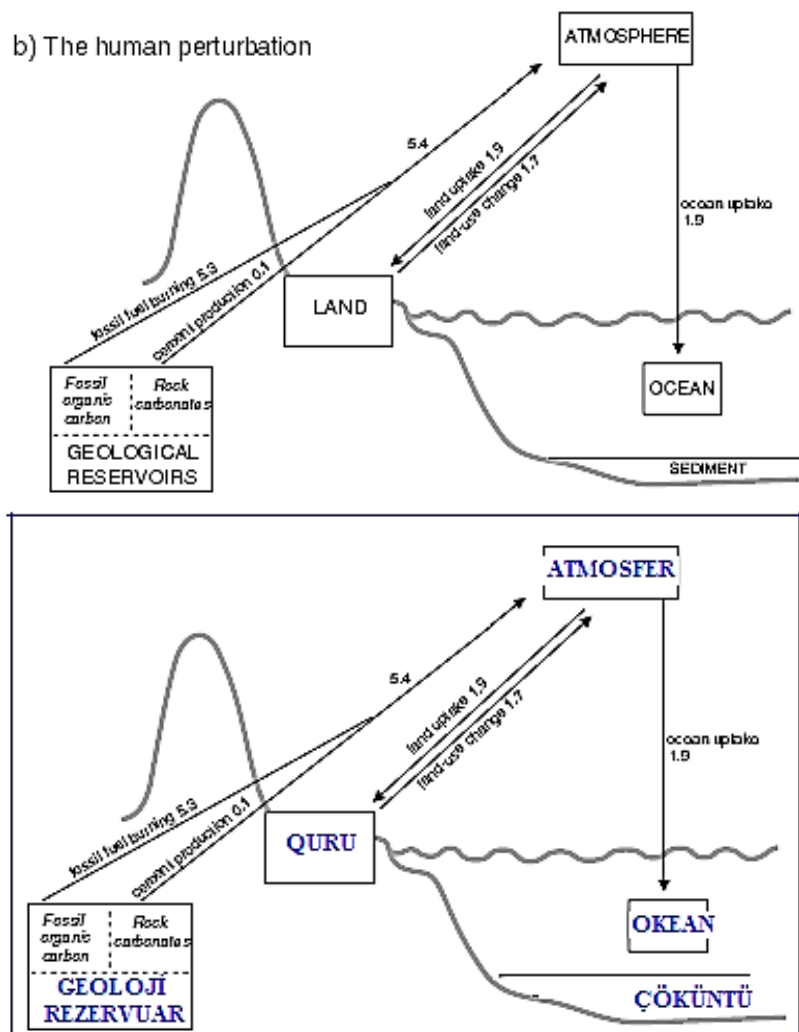
Müxtəlif yanacaq növlərinin yandırılması və torpaqdan istifadədə baş verən müxtəlif dəyişikliklər karbonun atmosferdə artmasının başlıca prosesləridir. Karbonun ancaq bu hissəsi atmosferdə qalır; qalıq hissəsi isə quru (bitkilər və torpaq) və ya okean tərəfindən udulur.

(c) *Okeanda karbonun dövrəni.* Okeanda karbon dövrəninə modeli şəkil 13.11 c-də göstərilmişdir.

Karbonun okeanda həll olunması özünü ən əsas formada (CO₂, CO₃²⁻, HCO₃⁻, onların cəmi DIC-i təşkil edir) biruzə verir. DIC okeanda fiziki və bioloji proseslər vasitəsilə nəql olunur. İlkin brutto-məhsul fotosintez vasitəsilə istehsal olunmuş üzvi karbonun ümumi cəmindən ibarətdir. İlkin xalis məh-

sul isə aftotrof nəfəs almadan, yəni fotosintetik orqanizmlərin nəfəs almasından sonra qalan məhsuldur.

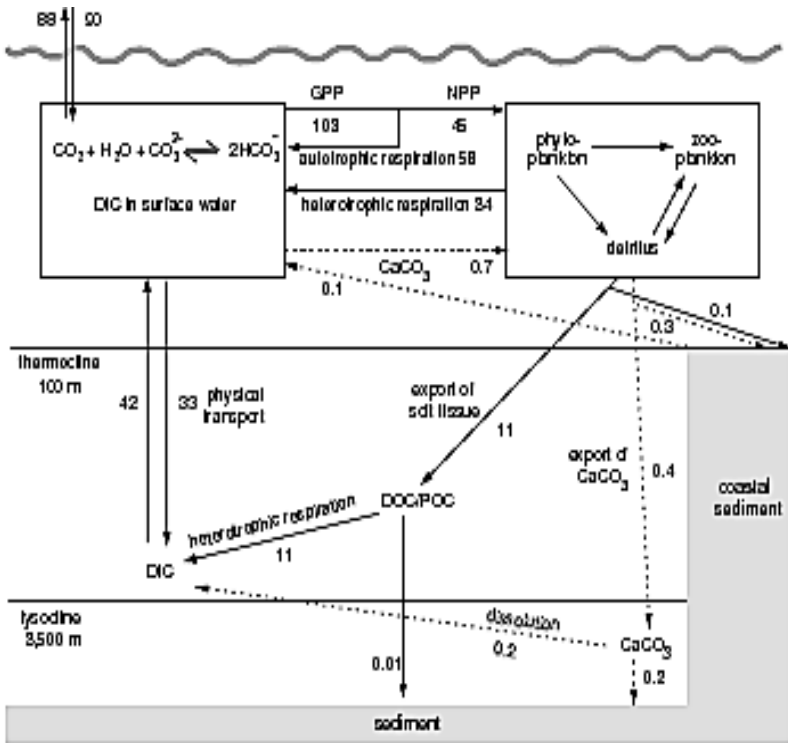
b) The human perturbation



Şəkil 13.11 b. İnsan fəaliyyəti ilə əlaqədar olaraq karbon dövrəsinin işarə modeli

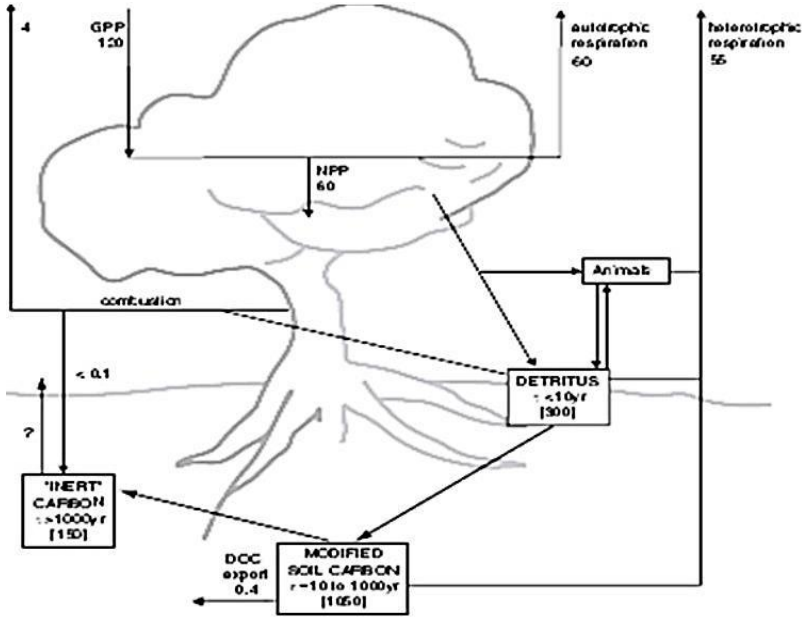
DOC və bioloji mənbələrin üzvi maddələrinin (POC) azalması məhsulun ixracı kimi tanınan aşağı enən axınların nəticəsidir.

Bu üzvi maddə qeyri-fotosintetik orqanizmlər tərəfindən daşınır və nəfəs alınır (heterotrofik nəfəsalma) və son nəticədə okeanın aşağı təbəqələrindən səthə axaraq, atmosfərə qayır. Ancaq çox cüzi hissə dərin sulu çöküntülərdə basdırılmışdır. CaCO_3 -nün okean dərinliklərinə daşınması ümumi məhsul daşınmasından (0.4 PgC/il) kiçikdir, lakin, təxminən bu karbonun yarısı CaCO_3 kimi dib çöküntülərində basdırılmışdır; onun digər hissəsi dərinlik sularında həll olunmuş və DIC birləşmələrinə qoşulmuşdur.



Şəkil 13.11 c. Okeanda karbon dövrünün işarə modeli

(d) *Quruda karbonun dövrəsi*. Yer kürəsinin quru ərazisi üzərində karbon dövrəsinin modeli şəkil 13.11 d-də göstərilmişdir.

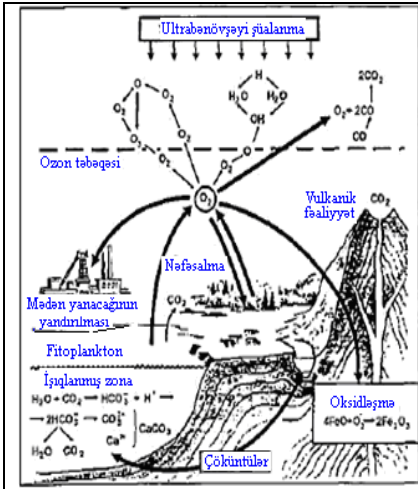


Şəkil 13.11 d. Yer kürəsinin quru ərazisi üzərində karbon dövrəsinin işarə modeli

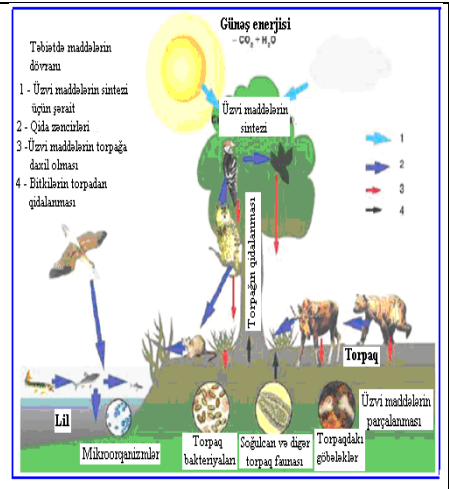
Okeanla müqayisədə quruda karbon dövrəsinin ən çox hissəsi lokal olaraq ekosistmlər daxilində baş verir. Brutto-ilkin məhsulun təxminən yarısı bitkilər tərəfindən nəfəs almağa sərf olunur. Qalıq xalis ilkin məhsul (NPP) təxminən heterotrofik nəfəsalama ilə balanslaşdırılmışdır. Əksər NPP bitkilərin qocalmış toxumalarından keçməklə sututarların qırıntıları ilə birləşir.

Oksigenin qlobal dövrəsinin işarə və ya ideal modeli. Oksigen Yer planetinin ən vacib elementlərindən biridir. İndiki zamanda troposferdə sərbəst oksigenin konsentrasiyası 20,95 % (~21%) təşkil edir. Lakin, oksigen heç də həmişə yerətrafi

atmosferin - troposferin tərkibində olmamışdır. O, fotosintez edici orqanizmlərin həyat fəaliyyəti nəticəsində əmələ gəlmişdir. Geoloji tarixdə atmosferdə və hidrosferdə oksigenin toplanması karbon dövrününün tam qapalı olmadığı səbəbindən baş vermişdir. Oksigenin qlobal dövrününün işarə və ya ideal modeli şəkil 13.12-də verilmişdir. Fotosintez prosesi vaxtı ayrılan oksigen bütün canlı orqanizmlərin (aerobların) nəfəs almasına və üzvi birləşmələrin mineralizasiyası vaxtı karbonun oksidləşməsinə sərf olunur (şəkil 13.13). Bu proseslər atmosferdə, torpaqda, suda, lillərdə, dağ suxurlarında baş verir. Bu səbəbdən çöküntü suxurları ilə əlaqəli olan oksigenin əhəmiyyətli hissəsi fotosintetik mənşəyə malikdir.

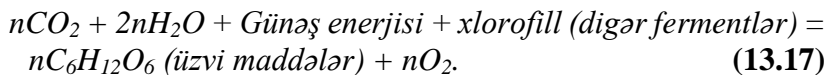


Şəkil 13.12. Oksigenin dövrü sxemi



Şəkil 13.13. Fotosintez əsasında maddələrin bioloji dövrü

Biosfer hüdudunda oksigenin canlı mühit orqanizmləri ilə və ya onların ölümündən sonra qalıqları ilə sürətlə mübadiləsi baş verir. Beləliklə, oksigenin dövrünü fotosintez və nəfəsəlmə prosesləri ilə əlaqəlidir. Fotosintezin cəmi tənliyi belə yazıla bilər:



Daha konkret olaraq fotosintez və nəfəs alma üçün aşağıdakı ifadələri yazmaq olar:

-fotosintez: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (ışıq, xlorofill) = $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$.

-nəfəs alma: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 = 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{enerji}$.

Bitkilər tərəfindən yaradılan üzvi maddələrin tam çürüməsinə dəqiq olaraq fotosintez vaxtı ayrılan oksigenin miqdarı tələb olunur.

Müasir dövrdə nəqliyyatın, sənayenin və antropogen fəaliyyətin bu və ya digər formalarının təsiri nəticəsində atmosfer oksigeninin əhəmiyyətli hissəsinin əl-qolu bağlanmışdır. Hesablamalar göstərmişdir ki, bəşəriyyət fotosintez prosesi tərəfindən yaradılan 430-470 mlrd. ton ümumi oksigendən 10 mlrd.-dan çox sərbəst oksigen işlədir. Əgər nəzərə alınsa ki, oksigenin mübadilə fonduna ancaq fotosintetik oksigenin yalnız az hissəsi daxil olur, onda insanların fəaliyyəti bu nisbətdə təhlükəli miqyas almağa başlayır.

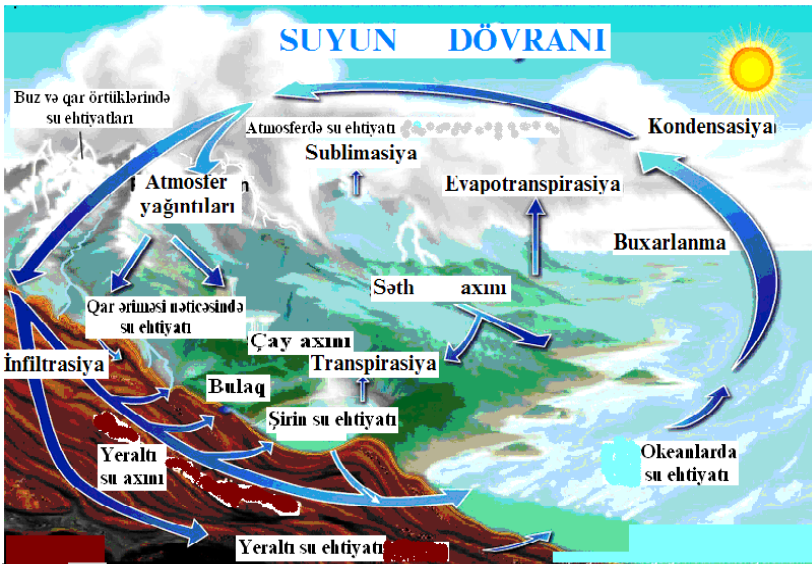
Atmosferdə əmələ gələn oksigen ozon təbəqəsinin yaranmasına imkan yaratmışdır. Belə ki, ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında atmosferdəki oksigen ozona çevrilmişdir. Onun miqdarı artıqca atmosferin yuxarı təbəqələrində ozon layı əmələ gəlmişdir. 10-25 km hündürlükdə yerləşən ozon layı Yer səthinə amansız kosmik və Günəşin ultrabənövşəyi şüalanmasının intensivliyini azaldır. Atmosfer və hidrosferdəki oksigen arasında hərəkətli tarazlıq mövcuddur. Eyni həcmə düşən oksigenin miqdarı havaya nisbətən suda 21 dəfə azdır.

13.4. Suyun global dövrünün modelləşdirilməsi

Suyun global dövrünün modelləşdirilməsinin əsasları. Yer kürəsində bioloji dövrlərdən əlavə Günəş enerjisi ilə hərəkətə gətirilən suyun global dövrünü də həyata keçirilir. Su sututarların və qurunun səthlərindən buxarlanır, sonra yer səthinə atmosfer yağıntıları formasında qayır. Okean üzərində

buxarlanma yağıntılardan üstünlük təşkil edir, quru üzərində isə - əksinədir. Bu fərqlər çay axınları ilə kompensasiya olunur. Suyun qlobal dövrəsinə bitki örtüyü əhəmiyyətli rol oynayır. Yer səthinin ayrı-ayrı hissələrində bitkilərdən transpirasiya yolu ilə atmosfərə ayrılan suyun miqdarı bu əraziyə düşən atmosfer yağıntılarının 80-90%-ni təşkil edə bilər. Bu nisbət bütün iqlim qurşaqları üzrə orta hesabla $\approx 30\%$ ola bilər.

Biosferin tarixində yerüstü bitki sisteminin əmələ gəlməsi transpirasiya hesabına atmosfer yağıntılarının dəniz və quru üzərində yenidən paylanmasına və bununla da dolaylı olaraq çay axınlarının həcminə və fiziki və kimyəvi aşınma proseslərinə təsir göstərmişdir (şəkil 13.14). Müəyyən miqdarda su buzlaqlarda (həm dağların zirvəsində, həm də qütblərdə) yığılır. İqlimin istiləşməsi vaxtı bu sular dövrəyə daxil olur, soyumasında isə - mövcud buzlaqların həcmi artır. Qalan su, torpaq səthinə düşərək, ya torpaqdan süzülərək, son nəticədə dəniz və ya okeanlara axır, ya da bitkilər tərəfindən udularaq transpirasiya nəticəsində atmosfərə daxil olur.



Şəkil 13.14. Təbiətdə suyun dövrəni sxemi

Bütün bu göstərilən amillər suyun qlobal dövrünün riyazi modelləşdirilməsinin fiziki əsaslarını təşkil edir. Müasir elmi ədəbiyyatda suyun qlobal dövrünün müxtəlif riyazi modelləri işlənilmişdir. Onlardan biri Rusiyada işlənmiş suyun qlobal dövrünü modelidir.

Müəyyən bir regionda (i regionu) quruda suyun miqdarı (W_i), okeanda (W_o) olan halda atmosferdəki suyun miqdarı

onların cəmindən ibarətdir: $W_A = W_{oA} + \sum_{i=1}^m W_{iA} \cdot W_i$ kəmiyyəti

əsasən səth sularından W_{iS} , qrunt sularından W_{iH} , donmuş vəziyyətdə olan sudan W_{iF} və bioloji sudan təşkil olunub. Bu komponentlər arasında axınlar intensivliyinə görə müxtəlifdir. Məsələn, yeraltı sular və donmuş sular üçün rütubət dövrünün ən kiçik intensivliyi xarakterikdir. Suyun qlobal dövründə iştirak formalarına görə quru və okean bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Okean və ya qurunun i -regionunda su buxarının axını, əsasən iki axından – baxılan ərazidən kənarında buxarlanma nəticəsində yaranan su buxarının advektiv axınından və yerli ərazidə buxarlanma nəticəsində əmələ gələn axından təşkil olunub.

Modelin balans tənliklərini tərtib etmək üçün mümkün ola bilən bütün prosesləri funksional asılılıqlarla təsvir etmək lazımdır. Modeldə buxarlanmanın sürəti işıqlanma dərəcəsindən, temperaturdan, bitki örtüyünün və torpağın vəziyyətindən asılıdır. Bitki örtüyü üçün transpirasiyanın sürəti transpirasiya əmsalından, i -növlü bitkinin vahid biokütləsinin yaranmasına sərf olunan suyun miqdarından, fotosintez tərəfindən mənimsənilən günəş enerjisinin payından, transpirasiya üçün torpaqda lazım olan suyun mövcudluğundan asılıdır. Həm buxarlanmanın, həm də transpirasiyanın sürətləri Şrayber - Oldekopun modifikasiya edilmiş tənlikləri ilə təsvir olunub. Okean səthindən buxarlanma bir qədər başqa xarakter daşıyır və ətraf mühitin dəyişkənliyindən nisbətən az asılıdır. Əsas təsiredici amil kimi havanın temperaturu götürülmüşdür.

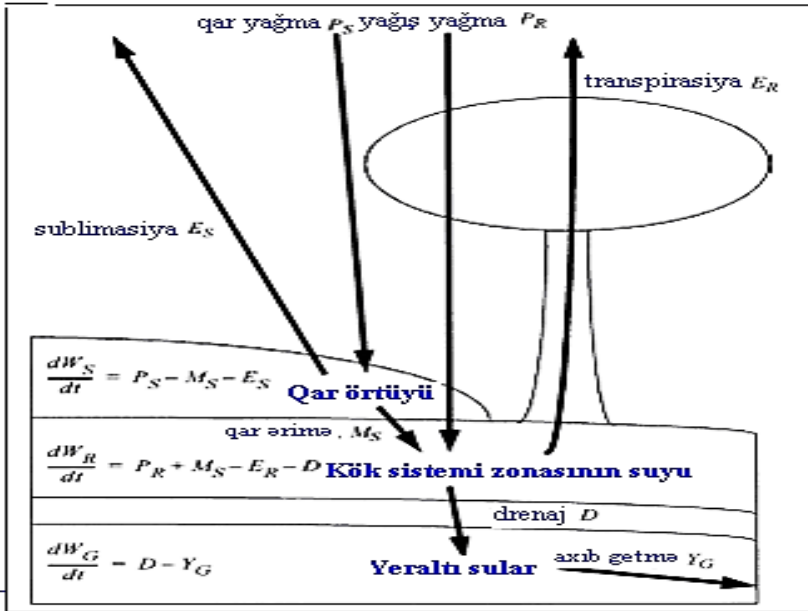
Baxılan *i*-regionunun temperatur rejimi M.İ.Budiko modeli ilə təsvir olunub. Modeldə *i*-regionunun temperatur rejimi orta hesabla bütün Yer kürəsi üzrə *i*-regionunun albedosundan və buludluğundan, həmçinin bir sıra sabit götürülmüş parametrlərdən asılıdır. Su dövranında iştirak edən dəniz buzlarının sahəsi müəyyən sabit kəmiyyətlərdən və dəniz buzlarının sərhədlərində zonal ortalaşdırılmış temperaturdan asılıdır.

Modeldə atmosfer yağıntılarının regionlar və okeanlar arasında paylanması onların sahələrinə mütənasib paylandığını hesab etməklə, yağıntıların tərkib hissələri üçün müvafiq tənliklər sistemi tərtib edilmişdir. Bu tənliklərin əmsalları okean və *i*-regionu üzərində küləyin orta sürətlərindən, küləyin atmosfer yağıntılarının ümumi sirkulyasiyasında payını əks etdirən parametrlərdən asılıdır.

Modeldə səth axınlarının tərkib hissələri daxili və xarici axınlara ayrılıb. Qurunun hər bir regionu üzrə xarici axının payı orta hesabla 78%, daxili axının payı isə 22% götürülüb. Qurunun vahid sahəsindən okeana və ya digər regiona axının qiymətləri bitkilərin növdən, torpağın vəziyyətindən, onun rütubətliyindən və digər amillərdən asılıdır. Qurudan okeana axınlar səth axınlarının, ərimiş qar suları axınlarının və yeraltı suların axınlarının cəmindən ibarətdir. Belə bölgünün kifayət qədər şərti olmasına baxmayaraq modelin qurulmasını asanlaşdırıb. Səth axınlarının tərkib hissələrinin hesablanmasında istifadə olunan funksional asılılıqlar müxtəlif vaxt intervallarında temperatur dəyişmələrindən, ərimiş qar sularının axınlarının havanın temperaturunun 1°C - dəyişməsindən asılı olaraq dəyişməsi sürətindən, bitki örtüyündən, humus qatından və atmosfer yağıntılarından asılıdır.

Modelin digər tərkib hissələri səth sularından götürülmüş su hesabına bir nəfərə düşən suyun miqdarından, bir nəfərə düşən yeraltı suyun miqdarından, havanın temperaturunun 1°C dəyişməsi vaxtı suyun donma göstəricisindən asılıdır.

Quru sularının və enerji balanslarının qlobal modelləşdirilməsi. Dərslərdə təqdim olunan modelin əsasını irimiqyaslı quru (materiklər miqyasında) sularının və enerji balanslarının sadə qlobal modeli təşkil edir (LaD) (Milly P.C.D., Shmakin A.B., 2002). Model əvvəllər iqlimin modelləşdirilməsində istifadə olunmuş sxemin genişləndirilmiş və təkmilləşdirilmiş variantıdır və onu orijinaldan fərqləndirən bir sıra vacib dəyişikliklər həyata keçirilmişdir. Modelləşdirilən mühit (sahə) bir-birinin üzərinə düşməyən xanalara bölünüb və hər bir xananın su və enerji balansı ayrı-ayrılıqda formalaşır. Xanalar buzlaq və buzlaqsız ola bilər. Buzlaq dinamikasına baxılmaz. Cəmi su həcmi (W , hər bir üfqi təbəqə vahidi üçün suyun kütləsi) hər bir buzlaq olmayan xana içində qar sularının (W_S), kök sistemindəki suyun (W_R), və səth sularının (W_G) cəmi kimi hesablanıb (şəkil 13.15).



Şəkil 13.15. LaD modelində su axınları və axın səviyyələrinin sxemi

Buzlaq xanaları ancaq qar sularından və buzlaqlardakı buzların suyundan W_I ibarətdir.

Beləliklə, yazmaq olar:

$$W = W_S + W_R + W_G + W_I. \quad (13.8)$$

Modeldə yağışlar zamanı bitkilər tərəfindən tutulub saxlanmış suya baxılır. Qardakı maye suları bütün vaxt intervallarında az olması qəbul edilib. Kök sistemi zonasındaki suyun miqdarı (W_R) quru səth ilə effektiv kök yayılma təbəqənin (Z_R) suyundan ibarətdir. (13.8) tənliyinin sağ tərəfindəki su balansı tənlikləri aşağıdakılardır:

$$\frac{dW_S}{dt} = P_S - M_S - E_S, \quad (13.9)$$

burada P_S – atmosfer yağıntılarının donma sürəti; M_S – qar sularının əriməsi sürəti; E_S – qar sularından sublimasiya sürətidir.

$$\frac{dW_R}{dt} = P_R + M_S - E_R - D, \quad (13.10)$$

burada P_R – buzlaq olmayan xanalarda ərimiş qar suları və atmosfer yağıntıları ilə kök sistemi zonasının qidalanması; E_R – transpirasiya vasitəsilə kök sistemi zonasından suyun sərfi; D – drenaj vasitəsilə kök sistemi zonasından suyun sərfidir.

Bitki kök sistemi yerləşən zonada drenaj sularının miqdarı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$D = \begin{cases} P_R + M_S - E_R & (P_R + M_S - E_R) > 0 \text{ ve } (W_R = W_R^*) \text{ olduqda} \\ 0, & (P_R + M_S - E_R) \leq 0 \text{ ve } (W_R < W_R^*) \text{ olduqda} \end{cases} \quad (13.11)$$

$$\frac{dW_G}{dt} = D - Y_G, \quad (13.12)$$

burada Y_G - məhsulun formalaşmasına sərf olunan səth suyudur.

$$Y_G = W_G / \tau. \quad (13.13)$$

$$\frac{dW_I}{dt} = -E_I - M_I, \quad (13.14)$$

burada E_i – sublimasiya; M_i - ərimədir.

$$Y_I = P_R + M_S + M_I, \quad (13.15)$$

burada M_S – qar örtüyü üzərində olan ərimiş su həcmi.

Baxılan xanaların cəmi su balansı qeyri-buzlaq və buzlaq xanalarındakı suların həcmnin cəmindən ibarətdir və alınan nəticəni ümumi formada belə yazmaq olar:

$$\frac{dW}{dt} = P - E - Y, \quad (13.16)$$

burada P –atmosfer yağıntılarının miqdarı (P_R və P_S -in cəmi); E – su buxarının torpaq səthindən atmosfərə daşınması sürəti (qar örtüyü olduqda E_S -ə, qeyri-buzlaqlı qar olmayan xanalarında E_R -ə, buzlaqlı qar olmayan xanalarında isə E_I -yə bərabərdir); Y – yerüstü su şəbəkəsini su ilə təmin etmə sürətidir (qeyri-buzlaqlı xanalarda Y_G -yə, buzlaqlı xanalarda isə Y_I -yə bərabərdir.

Cəmi enerji balansı (S , hər bir üfqi təbəqə vahidi üçün enerjinin miqdarı) aşağıdakı düsturla modelləşdirilib:

$$S = S_S + S_I + S_R, \quad (13.17)$$

burada S_S – qar örtüyündə qarərimənin gizli istiliyi; S_I – buzlaqlarda qarərimənin gizli istiliyi; S_R – torpaqda qarərimənin gizli istiliyidir.

$$S_S = -L_f \cdot W_S, \quad (13.18)$$

$$S_I = -L_f \cdot W_I, \quad (13.19)$$

$$S_R = C \cdot \int_0^{\infty} T dz, \quad (13.20)$$

burada L_f – qar suyunun əriməsinin gizli istiliyi; C – torpağın həcmi istilik tutumu; T – kök sisteminin yayıldığı torpaq təbəqəsinin temperaturu; z - dərinlikdir.

(13.18)-(13.20) ifadələri üçün enerji-balansı tənlikləri aşağıdakı kimi verilmişdir:

$$\frac{dS_S}{dt} = L_f (M_s + E_s - P_s). \quad (13.21)$$

$$\frac{dS_I}{dt} = L_f (M_s + E_s). \quad (13.22)$$

$$\frac{dS_R}{dt} = G, \quad (13.23)$$

burada G – istiliyin torpağın içinə axınıdır.

G kəmiyyəti yer səthinin radiasiya balansı, atmosferin gizli istiliyi və atmosferlə yer səthi arasında istilik mübadiləsi istiliyi və buzlaq buzunun və ya qarın suyunun faza keçidləri ilə təyin olunur:

$$G = R_n - LE - H - L_f M - L_f (E_s + E_f), \quad (13.24)$$

burada R_n – yer səthinin radiasiya balansı; L – suyun buxarlanmasının gizli istiliyi; H – atmosferlə yer səthi arasında istilik mübadiləsi; M – ərimə sürətidir.

Yekunda S üçün yazmaq olar:

$$\frac{dS}{dt} = R_n - LE - H - L_f P_s. \quad (13.25)$$

$$H = \frac{\rho_a c_p}{r_a} (\theta_0 - \theta_a), \quad (13.26)$$

burada r_a – suyun buxarlanmasına aerodinamik müqavimət; θ_0 və θ_a – müvafiq olaraq yer səthi üzərində və yerətrafi atmosferin müəyyən hündürlüyündə (z_0) potensial temperatur; ρ_a – havanın sıxlığı; c_p –sabit təzyiqdə havanın xüsusi istiliyidir.

Radiasiya balansı belə hesablanır:

$$R_n = R_s (1 - A) + R_l - \sigma \cdot T_0^4, \quad (13.27)$$

$$A = (1 - \beta)A_n + \beta A_s, \quad \beta = \frac{W_s}{(W_s + W_s^*)}, \quad (13.28)$$

burada R_s – yer səthinə düşən radiasiya axını; A – səthi albedo; A_n – qar olmayan səthin albedosu; R_l – atmosfer radiasiyası; σ – Stefan-Boltsman sabitidir.

Buzlaq və ya qar üzərindən su buxarı axınları sadəcə olaraq aşağıdakı tənliklə ifadə olunub:

$$E_{LS} = \frac{\rho_a}{r_a} (q_s(T_0) - q_a), \quad (13.29)$$

burada $q_s(T_0)$ – torpaq səthi üzərində doyma şəraitində su buxarının atmosfer havası ilə qarışması sürəti; $q_a - z_0$ hündürlüyündə doyma şəraitində su buxarının atmosfer havası ilə qarışma sürətidir.

Transpirasiyanın intensivliyi aşağıda göstərilən düsturla hesablanır:

$$E_R = \frac{\rho_a}{(r_a + r_s)} [q_s(T_0) - q_a] \cdot \min \left[\left(\frac{W_R}{0.75W_R^*} \right), 1 \right], \quad (13.30)$$

burada r_s – bitki yarpağının ağızcıq müqaviməti; W_R^* - W_R -in maksimum ola bilən qiyməti və ya torpağın ən kiçik su tutumudur (suyun çatışmazlığını nəzərə alır).

Torpağın temperatur rejimi istilik keçirmə tənliyi ilə təsvir olunub:

$$C \frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial q_h}{\partial z}, \quad (13.31)$$

$$q_h = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z}, \quad (13.32)$$

burada λ - istilik keçirmə əmsalidir.

Global su ehtiyatlarının riyazi modeli. Modelin əsasını yapon alimlərinin hazırladıqları inteqrə edilmiş riyazi model təşkil edir (Hanasaki N. et al., 2008). Model altı altmodeldən ibarətdir: quru səthin hidrologiyası, çay axınları, bitkilərin böyüməsi, su anbarlarında suyun tənzimlənməsi, ətraf mühit axınlarının ehtiyaclarının qiymətləndirilməsi, antropogen su götürmə. Bunlardan ancaq 1, 3 və 4-cü altmodulların qısa riyazi təs-

viri verilmişdir. Modeldə vaxta görə addım bir sutka, məkana görə isə $1^0 \times 1^0$ (coğrafi uzunluq və enlik) təşkil edir, təbii və antropogen su axınlarını (Antraktida istisna olmaqla) qlobal olaraq hesablamaq mümkündür. Modelin meteoroloji giriş məlumatları 2-ci “Qlobal torpaq rütubətliyi” layihəsindən (GSWP2) götürülmüşdür. Modeldə altı altmodel aşağıdakı səbəblərə görə seçilmişdir:

1) Bərpa olunan şirin su ehtiyatlarının, quru səthin hidrologiyası altmodelinin və çay axınlarının qiymətləndirilməsi zəruriliyi.

2) Kənd təsərrüfatının suya tələbatının qiymətləndirilməsi ona görə xüsusilə vacibdir ki, qlobal su ehtiyatlarının 85%-i kənd təsərrüfatında istifadə olunur;

3) Bitkilərin böyüməsi altmodeli suvarma tarixlərini və suvarma suyuna olan tələbatı qiymətləndirməyə imkan verir.

4) Su anbarları çay axınlarının mövsümi variasiyalarının qoruyucusu rolunu oynayır.

5) Antropogen su götürmə altmodelinin zəruriliyi də şübhə doğurmur.

Quru səthin hidrologiyasının altmodeli. Quru səthin hidrologiyasının altmodeli qar örtüyü də daxil olmaqla, quru səth üzərində enerji və su balanslarını hesablayan modellər toplusuna (Manabe, 1969; Robock et al., 1995) əsaslanmışdır, lakin onlardan aşağıdakı üç aspektlə fərqlənir: 1) torpağın temperaturu torpaq səthinin temperaturunun hər üç saatdan bir hesablanmasına əsaslanmışdır; 2) sadə səth axınları parametrizasiyası altmodelə daxil edilmişdir; 3) suvarma əkinçiliyi digər torpaq növlərindən ayıra bilən quru səthin iki asılı olmayan şəraiti vahid şəbəkədə hesablanıla bilər.

Altmodeldə bütün bitki və torpaq növləri üçün torpaq layı qalınlığı 15 sm olan təbəqələrə bölünüb. Torpaqda su olmayan da onun qiyməti dayanıqlı solma rütubətliyinə, torpaq su ilə tam doyduqda isə - tam su tutumu rütubətliyinə bərabər götürülür. Evapotranspirasiya (buxarlanma + transpirasiya) potensial eva-

potranspirasiya və torpaq rütubətliyinin funksiyası kimi ifadə olunub. İndi isə altmodelin tənliklərinə baxaq. İlk əvvəl qurunun müxtəlif səthlərinin albedosu hesablanır.

1) Qar səthinin albedosu:

$$\alpha_{snow} = \begin{cases} \alpha_{max}, & T_S \leq T_{kr} \\ \frac{\alpha_{max} \cdot (T_{kr} - T_S) + \alpha_{min} \cdot (T_S - T_{kr})}{T_{melt} - T_{kr}}, & T_{kr} \leq T_S \leq T_{melt} \\ \alpha_{min}, & T_S \geq T_{melt} \end{cases} \quad (13.33)$$

burada $\alpha_{max}=0,60$ – qar səthinin maksimal albedosu; $\alpha_{min}=0,45$ – qar səthinin minimal albedosu; $T_{kr} = 263,15 K$ – kritik temperatur; $T_{melt} = 273,15 K$ – buzun ərimə nöqtəsidir.

2) Qar olmayan quru səthin albedosu:

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_{snow}, & 20 \leq SWE \\ \alpha_{soil} + \sqrt{0,05 \cdot SWE} \cdot (\alpha_{snow} - \alpha_{soil}), & 0 < SWE < 20, \\ \alpha_{soil}, & SWE = 0 \end{cases} \quad (13.34)$$

burada SWE – qar suyunun ekvivalentidir, kq/m^2 .

Potensial buxarlanma E_P ($kq/(m^2 \cdot san)$) belə hesablanır:

$$E_P(T_S) = \rho \cdot C_D \cdot U \cdot (q_{sat}(T_S) - q_a), \quad (13.35)$$

burada ρ - havanın sıxlığı (kq/m^3); $C_D = 0,003$ – həcmdən keçid əmsalı; U – küləyin sürəti (m/san); $Q_{SAT}(T_S)$ – yer səthi temperaturu şəraitində doymuş su buxarının xüsusi rütubətliyi (kq/kq); q_a – xüsusi rütubətlidir (kq/kq).

Səth örtüyündən buxarlanma belə hesablanır:

$$E = \beta \cdot E_P(T_S),$$

$$\beta = \begin{cases} 1, & 0,75W_f \leq W \\ W/W_f, & W < 0,75W_f \end{cases} \quad (13.36)$$

burada W – torpağın rütubət ehtiyatları (kq/m^2); $W_f = 150 kq/m^2$ – torpağın su tutumudur.

Turbulent istilik mübadiləsi tənliyi belə yazılır:

$$H = C_p^* \cdot \rho \cdot C_D \cdot U \cdot (T_s - T_a), \quad (13.37)$$

burada $C_p^* = 1005 \text{ C/(kq}\cdot\text{K)}$ -havanın xüsusi istilik tutumu; T_a – havanın temperaturudur (K).

Enerji balansının hesablanması tənliyi aşağıdakı kimi ifadə olunub:

$$(1 - \alpha) \cdot SW + LW = \sigma \cdot T_s^4 + I \cdot E + H + G, \quad (13.38)$$

burada SW – yer səthinə düşən qısdalğalı radiasiya; LW - yer səthinə düşən uzundalğalı radiasiya; σ -Stefan-Boltsman sabiti; I –buxarlanmanın gizli istiliyi; G –torpağa istilik axınıdır.

Qar örtüyünün su balansı tənliyi aşağıdakı kimi ifadə olunur :

$$\frac{dSWE}{dt} = S_{nowf} - Q_{sm} - Q_{sub}, \quad (13.39)$$

burada SWE – qar suyunun ekvivalenti (kq/m^2); S_{nowf} – qarın yağma intensivliyi ($\text{kq/m}^2 \cdot \text{san}$); Q_{sm} – qarın əriməsi sürəti ($\text{kq/m}^2 \cdot \text{san}$); Q_{sub} – sublimasiya sürətidir ($\text{kq/m}^2 \cdot \text{san}$).

Torpağın su balansı tənliyi belə ifadə olunur:

$$\frac{dW}{dt} = K_{\phi umf} + Q_{sm} - Y - Q_s - Q_{sb}, \quad (13.40)$$

burada Q_s – səth axını ($\text{kq/m}^2 \cdot \text{san}$); Q_{sb} – torpaqaltı su axınıdır ($\text{kq/m}^2 \cdot \text{san}$).

Səth üstü su axını belə hesablanır:

$$Q_s = \begin{cases} W - W_f, & W_f < W \\ 0, & W \leq W_f \end{cases}. \quad (13.41)$$

Səth altı su axını belə hesablanır:

$$Q_{sb} = \frac{W_f}{\tau} \cdot \left(\frac{W}{W_f} \right)^\gamma, \quad (13.42)$$

burada τ - vaxt sabitidir (san) (100 gün üçün $\tau = 86400 \cdot 100$ san); $\gamma = 2$ (bu əmsalların hər ikisi global sabit kəmiyyətlərdir).

Bitkilərin böyüməsi altmodeli. Bu altmodel nisbətən sadə modeldir, istilik vahidi nəzəriyyəsinə, potensial biokütlənin və məhsuldarlıq indeksinin hesablanmasına əsaslanmışdır. Vegetasiya dövrü başladıqdan sonra altmodel sutkalıq istilik vahidini ($HUNA(t)$) toplamağa başlayır:

$$HUNA(t) = T - TB, \quad (13.43)$$

burada T – bitkilərin spesifik baza temperaturundan (TB – bitkinin xüsusiyyətlərini nəzərə alan parametr kimi verilmişdir) böyük olan orta sutkalıq temperaturdur.

İstilik vahidi cəmi baxılan bitki növü üçün tələb olunan potensial istilik vahidinə ($PHUN$ – bitkinin xüsusiyyətlərini nəzərə alan parametr kimi verilmişdir) çatdıqda, məhsul yetişmiş hesab olunur və onu yığmaq olar. Bitkinin böyüməsi vaxtı onun kütləsi sadə fotosintez modelindən istifadə etməklə hesablanır:

$$\Delta B = BE \cdot PAR \cdot REGF, \quad (13.44)$$

$$PAR = 0.02092 \cdot RAD \cdot [1 - \exp(-0.65 \cdot LAI)], \quad (13.45)$$

$$REGF = \min [TS, WS, NS, PS], \quad (13.46)$$

burada ΔB – ümumi kütlənin sutkalıq artması ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$); BE – bitki növünün xüsusiyyətlərini nəzərə alan parametr ($\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$); PAR – fotosintetik fəal radiasiya (MC/m^2); $REGF$ – bitki tənzimləyici amil; RAD – qısdaldığı radiasiya; LAI – yarpaq səthinin indeksidir; bitkinin böyüməsinə stress təsiri göstərən amillərə temperatur (TS), su (WS), azot (NS) və fosfor (PS) aid edilmişdir.

Bitkinin məhsuldarlığı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$YLD = HVSTI \frac{WSF}{WSF + \exp(6.117 - 0.086 \cdot WSF)} \cdot BAG, \quad (13.47)$$

$$BAG = [1 - (0.4 - 0.2 \cdot IHUN)] \cdot \sum \Delta B, \quad (13.48)$$

$$IHUN = \frac{\sum_t HUNA(t)}{PHUN} \quad (13.49)$$

$$WSF = \frac{SWU}{SWP} \cdot 100, \quad (13.50)$$

burada BAG – bitkinin yerüstü biokütləsi ($\text{kq}\cdot\text{ha}^{-1}$); $HVSTI$ – bitki xüsusiyyətini nəzərə alan parametr; SWU və SWP – müvafiq olaraq vegetasiya dövrünün ikinci yarısında faktiki və potensial cəm transpirasiyadır ($\text{kq}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Su anbarlarında suyun tənzimlənməsi altmodeli. Bu altmodeldə hər birinin həcmi $>1 \text{ km}^3$ olan və suyu öz qaydalarına görə əməliyyat aparən 452 əsas su anbarına baxılmışdır. Onların ümumi həcmi 4140 km^3 -dir, bu da dünya üzrə su anbarlarının həcmnin $\approx 60\%$ -ni təşkil edir. Əməliyyat qaydaları hər bir su anbarı üçün mövcud əldə oluna bilən qlobal məlumatlar istifadə olunan alqoritm vasitəsilə təyin olunur. Bu məlumatlara su anbarlarının su tutumu həcmi, hesablanmış axın daxil olmaları, suya olan tələbat və daha aşağı səviyyələrdə suya olan tələbat daxildir.

Sudan istifadə əməliyyatları əsasən iki hal üçün nəzərdə tutulmuşdur: suvarma və suvarmasız. Modeldə baxılan il üçün istifadə olunan cəmi su kütləsi (R [kg/il]) belə hesablanır:

$$R \approx \frac{S_{ini}}{0.85 \cdot C} \cdot I_{mean}, \quad (13.51)$$

burada I_{mean} – axıb gələn ortaillik su axını (kq/il); S_{ini} - əməliyyat ilinin əvvəlində su anbarında olan suyun kütləsi (kq); C – su anbarının su tutumu (kq); 0.85 – yarımempirik əmsaldır.

Əgər, su anbarının su tutumu $0.85 \cdot C$ -dən kiçik olarsa, onda sonrakı 12 ayda su anbarının buraxdığı su anbardakı suyun saxlanması üçün bura daxil olan illik su həcmindən az olacaq. Beləliklə, bu yolla axıb gələn suyun illərəarası variasiyası su anbarı vasitəsilə qorunacaq. Əgər, illik su buraxma müəyyən edi-

libsə, onda su anbarından buraxılan gündəlik su kütləsi (r [kg/sutka]) aşağıdakı kimi hesablanacaq:

$$r = \begin{cases} \frac{S_{ini}}{0.85 \cdot C} \cdot i_{mean} & \left(c = \frac{C}{I_{mean}} > 0.5 \right), \\ \left(\frac{c}{0.5} \right)^2 \cdot \frac{S_{ini}}{0.85 \cdot C} \cdot i_{mean} + \left[1 - \left(\frac{c}{0.5} \right)^2 \right] \cdot i & \left(c = \frac{C}{I_{mean}} \leq 0.5 \right) \end{cases}, \quad (13.52)$$

burada i_{mean} - illik su gəlmə, $kq \cdot s^{-1}$; i – gündəlik su gəlmə, $kq \cdot s^{-1}$; c – orta illik gələn suyun kütləsində (I_{mean} , kq) su anbarı tutumuna (C , kq) nisbətidir.

(13.52) tənlik sisteminin 1-ci tənliyi suyun illik axıb gəlməsi ilə müqayisədə su anbarında daha çox suyun toplanması halını təsvir edir, bu vaxt anbardan su buraxma aylıq su gəlməsindən asılı deyil. 2-ci tənlik suyun illik axıb gəlməsi ilə müqayisədə su anbarında daha az suyun toplanması halını təsvir edir, bu vaxt anbardan su buraxma aylıq su gəlməsindən asılı deyil. İl ərzində su anbarının dolub daşmasından və suyun sərf olunub qurtarmasından qaçmaq üçün suyun buraxılması sutkalıq axıb gəlmələr ilə təsvir olunur. Kvadratik dərəcə və 0.5 əmsalları empirik olaraq təyin edilib. $c=0$ olduqda su anbarı ilə aparılan əməliyyatlar çay axınlarına identik götürülür.

13.5. Qlobal iqlim dəyişmələrinin modelləşdirilməsinin əsasları

Qlobal iqlim dəyişmələrinin modelləşdirilməsi zəruriyyəti. İqlim bəşəriyyətin mövcudluğunun əhəmiyyətli ekoloji amilidir. İqlim tərəddüdləri dünya təsərrüfatının səmərəliliyinə əhəmiyyətli təsir göstərir və ehtiyatların paylanmasının optimallaşdırılması, inkişaf strategiyasının seçilməsi və s. nöqteyi-nəzərdən böyük praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Müasir dövrdə antropogen təsirlər tədqiq olunarkən, lazımı qədər tez, bir neçə onillik ərazində baş verən iqlim dəyişmələri ilə daha çox maraqlanırlar. Bu halda baxılan vaxt in-

tervalında iqlim sisteminin ətalətli elementləri olan litosferin, güclü materik buzlarının və okeanın dərin hissələrinin dəyişməz qaldığını qəbul edirlər. Bu xarakterik vaxt dövrləri üçün iqlim dəyişmələri atmosferin, okeanın üst təbəqəsinin və qurunun səthi ilə qarşılıqlı təsirləri ilə təyin edilir.

Artıq indi ehtimal oluna bilən və sonrakı dövrlərdə əhəmiyyətli güclənə bilən dəyişikliklərin qiymətləndirilməsi çətin və aktual məsələdən ibarətdir. İqlim dəyişmələrinin tədqiqi üçün eksperimental üsullardan istifadə tam bir sıra texniki çətinliklərlə rastlaşır. İqlim sisteminin miqyasları o qədər möhtəşəmdir ki, hətta bir regionda belə eksperimentlərin qoyulması həddən artıq bahalıdır.

Bunlara görə də müasir dövrdə qlobal iqlim proseslərinin tədqiqinin ən universal vasitəsi riyazi modelləşdirmə üsullarıdır. Məhz sistemin riyazi modeli iqlimin həssaslığı üzrə hesablama eksperimentləri qoymağa imkan verir.

Müasir dövrdə “istixana” effekti ilə əlaqəli olan iqlim dəyişmələrinin proqnozlaşdırılması üçün intensiv formada qlobal iqlim modelləri işlənir (Edmonds J., Reilly J. 1985; “Global Energy: Assessing the Future”), (Alkamo J. (ed), 1994: “IMAGE 2.0: Integrating Modeling of Global Climate Change”). Məsələn, «Climate Change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of Climate Change; Scientific-Technical Analysis» beynəlxalq proqram çərçivəsində işlənmiş IMAGE (Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect) modeli qütb buzlarının əriməsi, Dünya okeanının səviyyəsinin qalxması, Şimal yarımkürəsində iqlimin əhəmiyyətli istiləşməsi və bununla əlaqədar olaraq bitki örtüyünün sərhədlərinin şimala doğru yerinin dəyişməsinin proqnozlarını verir.

Qlobal iqlim modelləri barədə ümumi məlumat. Qlobal iqlim modelləri gündəlik hava proqnozlarının hazırlanmasında geniş istifadə olunan atmosferin ümumi sirkulyasiyası modelləri əsasında inkişaf etdirilmişdir. Qlobal iqlim modellərinin bir sıra tətbiq sahələrinə iqlim sistemindəki qarşılıqlı əlaqə və təsir pro-

seslərinin tədqiqini, iqlim sisteminin təkamülünün imitasiyasını, gələcək iqlim şəriatinin müxtəlif ssenarilərinin hazırlanmasını və s. aid etmək olar.

Qlobal iqlim modelləri eyni zamanda atmosferin ümumi sirkulyasiyası modelləri kimi tanınmaqla ən kompleks iqlim modellərindəndir, belə ki, onlar iqlim sisteminin başlıca komponentlərini üçölçülü fəzada təqdim etməyə imkan verir.

Qlobal iqlim modelləri müxtəlif fiziki və riyazi əsaslarla hazırlanmış iqlim dəyişmələri ssenariləri əsasında iqlim dəyişmələri üzrə eksperimentlərin aparılması üçün bir riyazi vasitədir. Hər bir fərdi iqlim modelinin layihəsi və strukturu yerinə yetirilə bilən iqlim dəyişmələri eksperimentləri ilə təyin edilir. Nəzərdən keçirilən xarakteristikalar bizim iqlim sistemini dərk etmə imkanları və hesablama resurslarının mövcudluğu ilə məhdudlaşır. Qlobal iqlim modellərinin, hesablama resurslarının və iqlim dəyişmələri eksperimentlərinin təbiətindəki təkamül ayrılmaz surətdə bağlıdır. Qlobal iqlim modellərini üç əsas növə bölmək olar:

1. Sadə okean layından (okeanı sadə hərəkətsiz lay kimi təsvir edir) və sadə quru səthin parametrləşdirilmiş sxemləri ilə birləşmiş (cüt) (yəni, UKLO və UKHI) atmosferin qlobal iqlim modelləri.

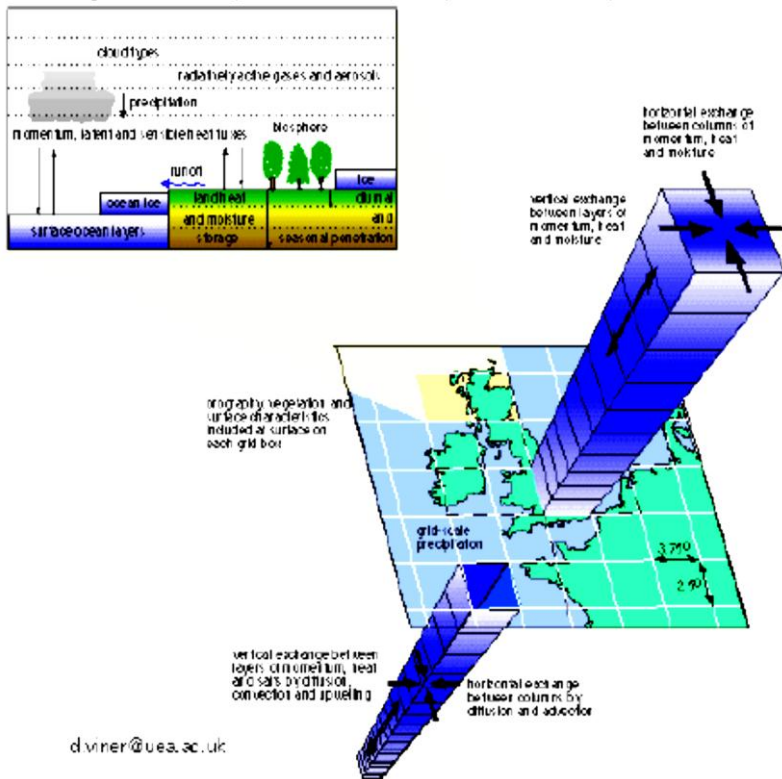
2. Okean sisteminin (onlardan birində okean axınları və istiliyin daşınması verilib) və quru səthin parametrləşdirilmiş sxemlər ilə birləşmiş (cüt) (yəni, UKTR) atmosferin üçölçülü təsvirini verən qlobal iqlim modelləri.

3. Okean sisteminin üçölçülü təsvirinin modeli və qurunun üçölçülü biosfer modeli ilə birləşmiş (cüt) (yəni, HadCM2 və HadCM3) atmosferin qlobal iqlim modelləri.

Nümunə kimi, şəkil 13.16-da birləşmiş okean-atmosfer qlobal iqlim modellərinin konseptual strukturu verilmişdir.

Göstərmək olar ki, tam birləşmiş okean-atmosfer qlobal iqlim modellərinin inkişafı və onlar əsasında iqlim dəyişmələri eksperimentlərinin aparılması çox yüksək həll etmə qabiliyyə-

tinə malik hesablama resursları tələb edir. Bunun nəticəsidir ki, dünyada ancaq bir neçə mərkəz bu istiqamətdə fəaliyyət göstərir. Məsələn, Hadley mərkəzi (Böyük Britaniya) hər biri 900 prosessoradan ibarət olan iki **CRAY 3TE** tipli superkompüterə malikdir. Modellərin birləşdirilməsi üçün multi - terabaytlıq məlumatın saxlanılması yaddaşı və onların emalı qurğuları tələb olunur. Bu faktı təsdiqləmək üçün şəkil 13.17-də Yer sistemindeki proseslərin modelləşdirilməsi üçün Yaponiyada istifadə olunan superkompyuterin xarici görünüşü verilmişdir.



Şəkil 13.16. Birləşmiş okean-atmosfer qlobal iqlim modellərinin konseptual strukturu



Şəkil 13.17. Yer sistemindəki proseslərin modelləşdirilməsi üçün Yaponiyada istifadə olunan superkompüterin xarici görünüşü

İqlim modellərinin inkişafının qısa tarixi. 1950-ci illərdə havanın proqnozunun ədədi üsullarla hazırlanmasının inkişafı ilə əlaqədar olaraq kompüterlərin imkanlarının tətbiqinin ilk istiqamətlərindən biri bu üsulların iqlim sisteminin tədqiqində istifadə olunması məsələləri olmuşdur. Atmosferin hidrodinamika tənliliklərinin nisbətən uzun müddət ərzində dayanıqlı inteqrallanması 1956-cı ildə Norman Filips tərəfindən nümayiş etdirilmişdir. Təxminən eyni vaxtda Cozef Smaqorinski iqlimin modelləşdirilməsi proqramına başlamış, bu da son nəticədə ABŞ-ın Prinston Universitetinin geofiziki maye dinamikaları laboratoriyasında (GFDL) Milli okean və atmosfer administrasiyasının ən uzunmüddətli və güclü inkişaf proqramlarından birinə çevrilmişdir.

1961-ci ildən başlayaraq Y.Mintz və A.Arakavanın rəhbərliyi altında Los-Ancelesdə Kaliforniya Universitetində atmosferin ümumi sirkulyasiyası modellərinin (AGCMs) yaradılmasına başlanmışdır. Bu proqram 1960 və 1970-ci illərdə indi Milli Aeronavtika və Kosmik Administrasiyasının laboratoriyalarında və bir sıra digər universitetlərdə fəaliyyətdə olan modelləşdirmə proqramlarına təsir etmişdir. Lourens şəhərində Livermor Milli Laboratoriyasında isə S.E.Leyz tərəfindən ilk AGCM modeli inkişaf etdirilmiş və yaradılmışdır. ABŞ-ın At-

mosfer tədqiqatları üzrə Milli Mərkəzi (NCAR) 1964-cü ildə A.Kasahara və U.Vaşinqtonun rəhbərli altında digər bir AGCM modelini inkişaf etdirilmişdir.

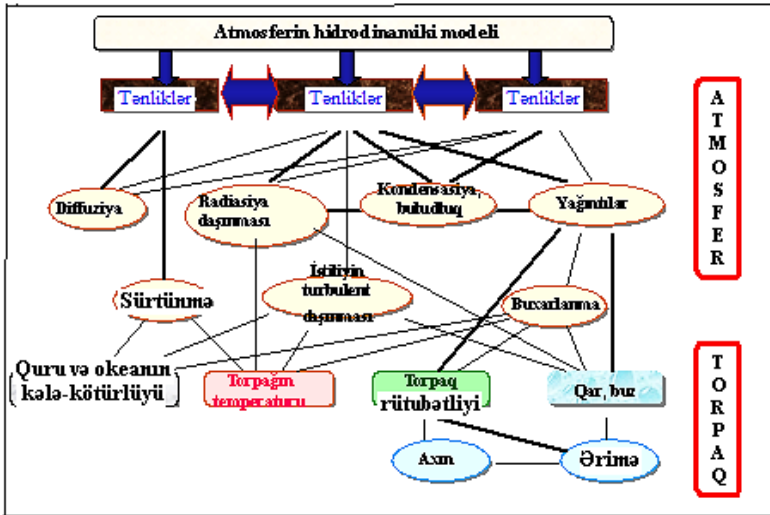
İlk dövrlərdə işlənilmiş hava proqnozu modellərində əsas diqqət iqlim hesablamalarında başlıca rol oynayan radiasiya daşımalarına və atmosferin enerji balansına yox, maye dinamikasına yönəldilmişdir. Əlavə olaraq, havanın təhlilində və proqnozlaşdırılmasında istifadə olunan orijinal modeli ilə iqlim hesablamalarının mümkünlüyü tələb olunurdu. Bundan başqa, iqlim hesablamaları vaxt miqyasının fəsildən çox olmasını özündə cəmləşdirdiyi üçün, daha sürətlə inkişaf edən atmosferdən əlavə modelləşdirilən sistemə okean və dəniz buzu da əlavə edilmişdir. Beləliklə, okean və buz modelləri atmosfer modelləri ilə birləşdirilmişdir.

Birinci okean qlobal iqlim modelləri GFDL-də 1960-cı illərdə Brayan və Koks tərəfindən inkişaf etdirilmiş, sonra isə 1970-ci illərdə Manabe və Brayan tərəfindən hazırlanmış atmosfer modelinə birləşdirilmişdir. ABŞ-dakı hadisələrə paralel olaraq 1960 və 1970-ci illərdə əsas mərkəzləri Avropa və Asiyada olan elmi-tədqiqat müəssisələrində iqlim və hava modellərinin inkişaf dövrü olmuşdur. Həmin elm mərkəzlərinin tədqiqatçıları Qlobal atmosfer tədqiqatları Proqramının sponsorluğu ilə 1974-cü ilin avqust ayında İsveçin paytaxtı Stokholm şəhərində iqlim modelləşdirilməsinin məğzinin elmi əsaslarını işləmişdir (GARP 1975). Bu görüş müasir dövrdə beynəlxalq əməkdaşlığı hələ də həyata keçirən əməkdaşlığın əsasını qoymuşdur. Karbon qazının və iqlimin tədqiqində iqlim modellərindən istifadə olunması 1970-ci illərin əvvəllərindən başlamışdır.

İqlim müşahidələrinin və kömpüterlərin gücünün təkmilləşdirilməsini davam etdirməklə bərabər, modelləşdirmə ilə məşğul olan qrupların modelləri də təkmilləşdirmişdir. Artıq 1980-ci illərin sonlarında qlobal iqlim dəyişmələri ilə məşğul olan bir neçə milli və beynəlxalq təşkilatlar formalaşmışdır.

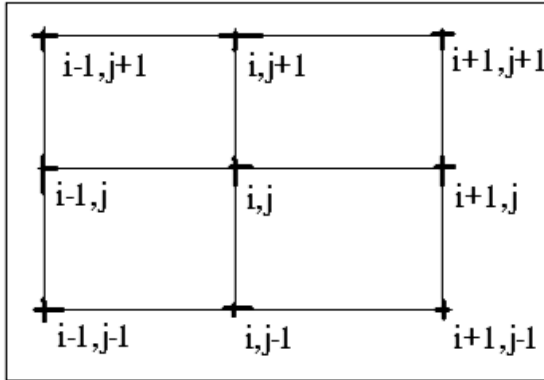
Bunlar da öz növbəsində iqlim modellərinin yaxşılaşdırılmasını sürətləndirmişlər. Birləşmiş Millətlər Təşkilatının İqlim dəyişmələri üzrə Dövlətlərarası I işçi qrupunun formalaşması 1988-ci ildə başlamış və onun tədqiqatlarının əsas istiqaməti iqlim dəyişmələrini idarə edən fiziki proseslərin öyrənilməsi olmuşdur. ABŞ-ın Qlobal dəyişmənin tədqiqi Proqramı 1989-cu ildə hazırlanmış, bu proqramın inteqrə edilmiş dörd ən yüksək prioritetindən biri iqlim modelləşdirilməsinin və proqnozlaşdırmanın layihələndirilməsi olmuşdur (Our Changing Planet 1991).

Atmosferin ümumi sirkulyasiyası modellərinin əsasları. Atmosferin ümumi sirkulyasiyası modelləri (AGCMs) və ya atmosferin hidrodinamiki modelləri – qabaqcadan atmosferin üçölçülü vəziyyətini inkişaf etdirən kompüter proqramlarıdır. Burada atmosferin vəziyyəti temperatur, təzyiq, rütubətlik, külək, su buxarı və buludlarda kondensasiya olunmuş buz kristalları kimi dəyişən kəmiyyətlərlə təsvir olunur. Atmosferin hidrodinamiki modelinin qarşılıqlı təsirləri sxemi şəkil 13.18-də təsvir olunmuşdur.

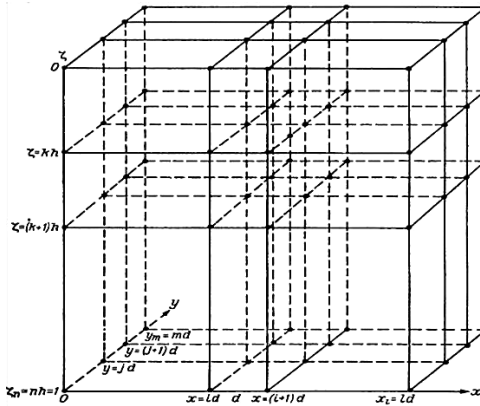


Şəkil 13.18. Atmosferin hidrodinamiki modelinin qarşılıqlı təsirləri sxemi

Yuxarıda baxılan kəmiyyətlər hesablama şəbəkəsinin nöqtələrində təyin olunmuşdur (şəkil 13.19 və 13.20). Məkana görə şəbəkənin addımı kompüterlərin gücünə əsasən təyin edilir. Atmosferin vəziyyətini idarə edən bir sıra proseslər model şəbəkəsində yaxşı həll olunur, digərləri isə - o qədər də yaxşı həll olunmayıblar. Axırcı proseslər modellərə bir çox hallarda parametrisasiyalar kimi aproksimasiyalar yolu ilə daxil edilir.



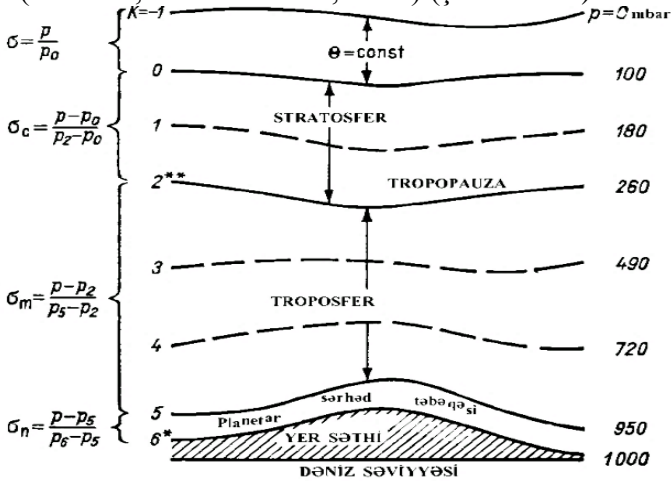
Şəkil 13.19. Müstəvi üzərində istifadə olunan şəbəkə nöqtələrinin sxemi



Şəkil 13.20. Fəzada istifadə olunan şəbəkə nöqtələrinin sxemi

Müasir atmosfer modellərində istiliyin, suyun və hərəkət miqdarının daşınması prosesləri üfüqi şəbəkənin nöqtələrində yaxşı həll olunub, şaquli şəbəkənin nöqtələrində isə proseslərin əhəmiyyətli hissəsinə şəbəkəaltı miqyasın parametrizasiyası yolu ilə nəzarət edilir. Modelin şəbəkə miqyaslı təkamülü termodinamikanın və hidrodinamikanın tənlikləri ilə təsvir olunurlar. Atmosfer isə Yer kürəsini örtük kimi əhatə edən nazik sferik hava qabığı kimi təqdim olunub. İqlim hesablamalarında atmosferin 20-30 km-lik qatına baxılır. Belə ki, burada atmosferin kütləsinin 95%-i və faktiki olaraq cari havanı təyin edən atmosferin bütün su buxarı cəmləşib.

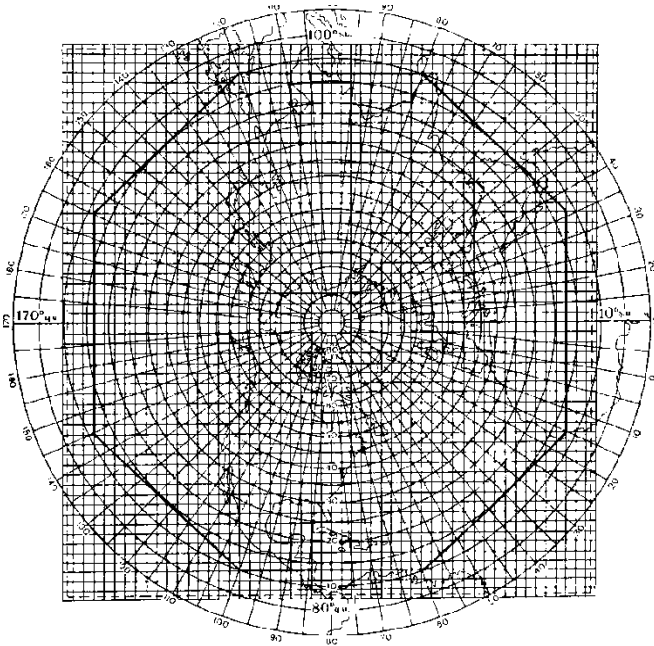
Demək olar ki, bütün AGCM modellər eyni primitiv (sadə) dinamik tənliklər sistemindən istifadə edir və onların həll edilməsi üçün müxtəlif ədədi alqoritmlərdən istifadə olunur. Bütün bu hallarda atmosfer bir neçə diskret təbəqəyə bölünür. Bəzi modellərdə tropopauzadan yuxarıda bir neçə təbəqə də ayrılır (məsələn, GFDL modeli, 2004) (şəkil 13.21).



Şəkil 13.21. ABŞ-ın milli meteorologiya mərkəzinin atmosferin proqnostik modelinin şaquli strukturu

Şəbəkənin nöqtələrində tənliklər zaman funksiyasına görə həll edilir.

Bütün AGCM modelləri Yer kürəsinin səthinin koordinat səthi kimi olan koordinat sistemindən istifadə edir və bu səthlə atmosfer arasında daim istilik, rütubət və hərəkətin miqdarı mübadiləsi aparılır. Tipik AGCM modellərində üfüqi müstəvi üzrə şəbəkə addımı 200 km və 15 km hündürlükdəki atmosfer həcmində 20 səviyyədə istifadə olunur. Stereoqrafik proyeksiyalı xəritənin üstünə 60° enlikdə 381 km-lik addımı olan 2621 nöqtəli (53x57) şəbəkə daxil edilir (bax şəkil 13.22).



Şəkil 13.22. ABŞ-ın milli meteorologiya mərkəzində hazırlanmış atmosferin proqnostik modelindəki şəbəkənin nöqtələri

Atmosferin ümumi sirkulyasiyası modelinin əsas tənliklər sistemi. Modelin fiziki əsasları. Atmosferin ümumi sirkulyasiyası kimi planetar miqyaslı prosesin struktur elementləri olan hava kütlələrinin, atmosfer cəbhələrinin, siklon və antisiklonların hərəkətlərinin öyrənilməsi vahid fiziki-riyazi təsvir əsasında

mümkündür. Atmosferə tətbiqi nöqteyi-nəzərdən hidrodinamika və termodinamika tənlikləri bu əsası təşkil edirlər. Buna görə də müvafiq tədqiqat üsulları hidrodinamiki üsullar adlanır. Baxılan məsələlərin hidrodinamiki üsullarla həll edilməsi aşağıdakı şərtlər çərçivəsində mümkündür:

1) hesablamalar ardıcıl mərhələlərlə və yaxud «addımlarla» aparılmalıdır (müasir hesablama sxemlərində bir «addımın» davamiyyəti təxminən 1 saatdır);

2) hesablama prosesində baxılan meteoroloji elementin növbəti qiyməti ilə bərabər, paralel olaraq, onun asılı olduğu elementlərin də qiymətləri hesablanmalıdır.

Bu vaxt, birinci addımın sonuna müvafiq zaman kəsiyi üçün, meteoroloji elementlərin hesablanmış qiymətləri ikinci addımda hesablama aparmaq üçün başlanğıc məlumatlar kimi qəbul edilirlər və s.

Beləliklə, atmosfer–okean–materik sistemində baş verən proseslərin inkişafının tam və kəmiyyətə riyazi təsviri atmosferin ümumi sirkulyasiyasının hidrotermodinamiki nəzəriyyəsinin əsaslarını təşkil edir və tədqiqatlarda aşağıdakı fizika qanunları istifadə olunurlar:

1) Nyutonun ikinci qanunu (cismin təcilinin ona təsir edən qüvvələrlə əlaqəsini göstərir);

2) Kütlənin saxlanması qanunu;

3) Termodinamikanın birinci qanunu (istənilən qaza verilən istiliyin qazın temperaturunun dəyişməsinə və təzyiqlik qüvvələrinin genişlənməsinin əksinə olan işə sərf olunduğunu göstərir);

4) Şüalanmanın köçürülmə qanunları (atmosferin müxtəlif tərkib hissələrinin konsentrasiyasından və molekulyar quruluşundan asılı olaraq istiliyin udulmasının və əks olunmasının gedişini göstərir);

5) Su buxarının diffuziya və termodinamika qanunları.

Bütün bu qanunlar dəyişmə proseslərini təsvir edirlər və differensial tənliklər sistemi kimi riyazi formada təqdim oluna

bilirlər. Burada qeyd etmək lazımdır ki, hidrotermodinamika nəzəriyyəsi və onun tənlikləri atmosferin vəziyyətilə bərabər, okeanların, torpağın və ya qar örtüyünün vəziyyətini də təsvir edirlər.

Modelin tənlikləri. Qarşıya qoyulan məsələlərin həllində əsas meteoroloji elementlər kimi üç skalyar kəmiyyətə – təzyiqa (p), temperatura (T) və sıxlığa (ρ), və havanın hərəkətinin sürət vektorunun üç tərkib hissəsinə – üfüqi (u və v) və şaquli (w) hissələrə baxmaq olar. Ümumiyyətlə, bu kəmiyyətlər vaxt keçdikcə bir nöqtədən digərinə dəyişirlər, yəni onlar koordinatların və vaxtın funksiyalarıdır. Başlanğıc sistem kimi x, y, z dekart koordinat sistemindən istifadə etmək olar. Burada z oxu şaquli olaraq yuxarı, x oxu enlik dairəsinə, y oxu isə - meridian dairəsinə toxunan istiqamətindədir.

Hərəkətin miqdarının saxlanması qanununun (Nyutonun ikinci qanununun) baxılan mühit üçün ifadəsi **üç hərəkət tənliyindən** ibarətdir. İki tərtibli xüsusi törəməli differensial tənliklər sistemidir və onların hər biri qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətlərin birində təsir göstərən qüvvələrin balansını müəyyənləşdirir.

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - 2\omega_y w + 2\omega_z v + k' \Delta u + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial u}{\partial z}, \quad (13.53)$$

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} - 2\omega_z u + 2\omega_x w + k' \Delta v + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial v}{\partial z}, \quad (13.54)$$

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g - 2\omega_x v + 2\omega_y u + k' \Delta w + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial w}{\partial z}, \quad (13.55)$$

burada $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - Yerin fırlanmasının bucaq sürəti vektorunun proyeksiyaları; g - sərbəstdüşmə təcili; k və k' - şaquli və üfüqi istiqamətdə turbuləntlik əmsallarıdır.

(13.53)-(13.55) tənliklərində beş axtarılan funksiya var: u, v, w, p, ρ . Buradan tam aydın görünür ki, onlar qapalı sistemdən ibarət deyillər və əlavə tənliklər cəlb olunmadan həll

edilə bilməzlər, belə ki, tənliklərin sayı axtarılan funksiyaların sayından azdır.

Belə əlavə tənliklərdən biri kəsilməzlik tənliyidir (13.56). Bu tənlik mayenin və ya qazın hərəkətlərinə tətbiqi nöqteyi-nəzərdən kütlənin saxlanması qanununu ifadə edir.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0, \quad (13.56)$$

İkinci əlavə olunan tənlik hal tənliyidir:

$$p = \rho RT \quad (13.57)$$

Üçüncü əlavə olunan tənlik istiliyin axıb gəlməsi tənliyidir (iki tərtibli xüsusi törəmli differensial tənlikdir), termodinamikanın birinci qanununu ifadə edir:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) + w(\gamma - \gamma_a) + \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \frac{\varepsilon_s + \varepsilon_f + \varepsilon_k}{c_p} \quad (13.58)$$

burada T – havanın temperaturu; t – vaxt; x, y, z – koordinatlar; u – havanın x oxu boyunca sürəti; v – havanın y oxu boyunca sürəti; w – havanın p oxu boyunca sürəti; γ – temperaturun faktiki şaquli qradienti; γ_a – temperaturun şaquli adiabatik qradienti; k – turbulent istilik mübadiləsi əmsalı; Θ - hərəkətdə olan hava hissəciyinin temperaturu; ε_s – yer səthi və atmosfer arasında şüa istilik mübadiləsi; ε_f – atmosferdə suyun faza keçidləri vaxtı istiliyin udulması və ya ayrılması; ε_k – kinetik enerjinin istilik enerjisinə çevrilməsi (dissipasiyası) nəticəsində udulan istilikdir.

Dördüncü əlavə olunan rütubətin (s) axıb gəlməsi tənliyidir (iki tərtibli xüsusi törəmli differensial tənlikdir):

$$\frac{ds}{dt} = - \left(u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} \right) - w \frac{\partial s}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \left(k \rho \frac{\partial s}{\partial z} \right). \quad (13.59)$$

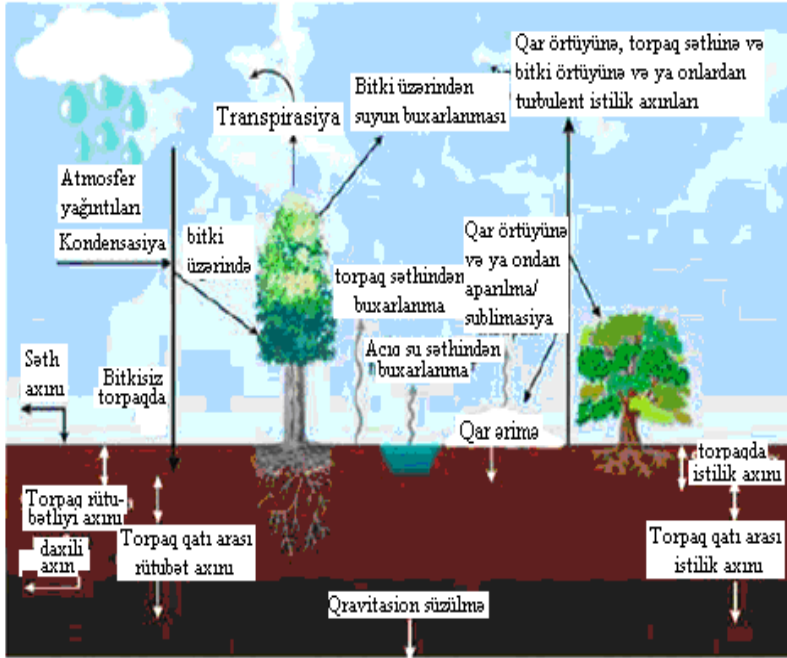
Hidrotermodinamika tənlikləri qeyri-xətti olduqları üçün onların həllində başlanğıc və sərhəd şərtləri verilir, tənliklərin

həllində sonlu-fərq approksimasiya üsulları istifadə olunur, tənliklərin həlli üçün qurulmuş şəbəkənin addımları və vaxta görə addım təyin edilir. Atmosferin şaquli quruluşu meteoroloji proseslər nöqtəyi-nəzərdən bircins olmadıqları üçün atmosfer müxtəlif təbəqələrə bölünür.

Quru səth örtüyünün modelləri. Yer kürəsi səthinin atmosferlə qarşılıqlı təsirləri iqlim sisteminin inteqral aspektidir. Onlar arasında kütlə və enerjinin, su buxarının və impulsun mübadiləsi baş verir. Bu mübadiləyə təsir edən atmosferlə səth arasında əks əlaqələr iqlim sistemində əhəmiyyətli effektlər yaradır. Quru üzərində baş verən proseslərin modelləşdirilməsi xüsusilə mürəkkəb məsələdir, belə ki, quru səthi həddən artıq heterogendir və bitki örtüyündəki bioloji mexanizmlər vacibdir. Buna görə də iqlim modelləri ilə aparılan hesablamalar seçilmiş quru səth örtüyünün modellərinə çox həssasdır.

Ən ilkin qlobal iqlim modellərində quru səthi gələn və gedən enerji axınlarının balansı və yağıntıları atmosferdən alan və rütubətliyi atmosferə buxarlandıran “çalov” kimi təqdim olunmuşdur. “Çalovların” dərinliyi torpağın tarla tutumuna bərabər götürülmüşdür. Yer səthinin iqlim sistemi ilə birlikdə əlaqələndirilmiş bioloji, kimyəvi və fiziki proseslərə daha az diqqət yetirilmişdir. İqlim hesablamaları üçün bu nöqtədən sadə başlayan quru səth örtüyünün modelləşdirilməsi reallıqları daha ətraflı əks etdirən tədqiqat istiqamətinə çevrilmişdir. Şəkil 13.21-də tipik quru səth modellərinə daxil edilmiş tipik fiziki proseslərin sxemi göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, şəkil 13.21-dəki sxem quru səth modelini havanın proqnozu və iqlim modelləri ilə birlikdə təsvir edir. Bu şəkil həm də vacib biofiziki və biogeokimyəvi prosesləri əks etdirir.

Bu modellərdən bir neçəsi kompleks formada genişləndirilmiş və onlara bitkilərin böyüməsi və inkişafı modelləri daxil edilmişdir. İlkin quru səth modellərinin inkişafında bitkilərdən transpirasiyaya biofiziki nəzarət mexanizmləri öz əksini tapmışdır.



Şəkil 13.21. Müasir quru səth modelində fiziki proseslərin sxemi

Bu modellərə quru səth, bitki örtüyü və atmosfer arasında enerji və rütubət mübadiləsi daxil edilmiş, modellərin sonrakı inkişafı karbon qazı axınlarını hesablayan bitki fiziologiyasının daha dəqiq nəzərə alınmasına istiqamətlənmişdir. Baxılan üsul modelə su və karbon qazı axınlarına optimallaşdırma problemi kimi baxılmasına və transpirasiya yolu ilə su itkisinə qarşı fotosintez üçün karbonun balanslaşdırılmasına imkan vermişdir.

Modeldəki təkmilləşdirilmələrə həm də peyk müşahidə məlumatlarının köməyi ilə modelin parametrlərinin kalibrləşdirilməsi və kök sisteminin torpaqda yayılmasının daha realistik parametrizasiyası və bitki örtüyünün bir neçə təbəqəyə bölünməsi aiddir.

Əksər quru səth modellərində torpağa qeyri-üzvi torpaq, əsasən də münbit torpağın, qumun və gilın qarışığından ibarət olan mühit kimi baxılır.

İlk dövrlərdə iqlim modellərində qar örtüyünə qar yağma hesabına böyümə və ərimə hesabına azalma olan sadə təbəqə kimi baxılmışdır. Artıq iqlim hesablamaları üçün bəzi müasir quru səth modellərində qar örtüyünün dərinliyə görə paylanması xüsusiyyətləri istifadə olunur. Müasir qar örtüyü modellərində qar içindən axınlarla təqdim olunan çoxtəbəqəli mühitdən istifadə olunur. Bunlarla bərabər, torpağın donması və əriməsi effektlərinin yaxşılaşdırılması və modellərə cəlb olunması cəhdləri də göstərilir. Bitki örtüyünün qar örtüyü ilə qarşılıqlı təsirləri bitki tərəfindən qarın üzərinin örtülməsi yüksək albedonun az olmasını və yazda qarın daha zəif sürətlə əriməsini şərtləndirir. Bununla da daha yüksək temperaturların xalis effektini nəzərə almaq mümkün olur. Bitki örtüyü həm də qarın yerdəyişməsini ləngidir, torpağı qışda şaxtalı havadan qoruyur və özünün sonrakı inkişafı üçün potensial olaraq qida maddələrinin ayrılmasını artırır.

Quru səth örtüyü modellərindəki proseslərin məkan miqyasları çox müxtəlif olduğu üçün qlobal və regional iqlim üçün model parametrlərinin adekvatlığının yoxlanılması məqsədilə bütün bunların iqlim modellərində istifadəsi hesablama sisteminin və müşahidə sisteminin imkanları çərçivəsindən kənardadır.

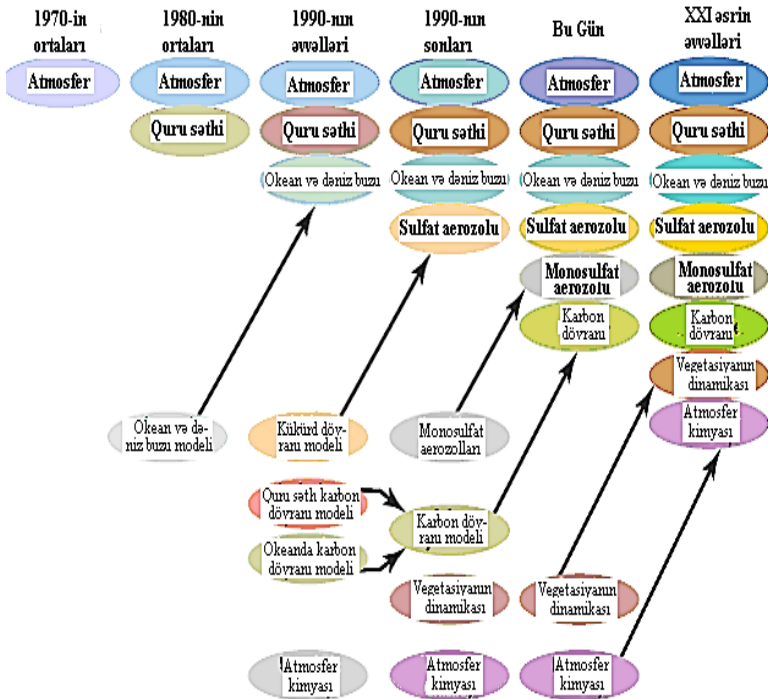
Quru səthini, bitki örtüyünü və yerətrafi atmosferi əlaqələndirən şaquli axınlar ümumiyyətlə aşağıya istiqamətlənmiş diffuzion qradiyentin müəyyən bir formasını alır, baxmayaraq ki, əks-qardiyentli axınlar atmosferin sərhəd təbəqəsinin üzərində yerləşən mühitdə mövcud ola bilər.

Məsələnin mürəkkəbliyi səbəbindən quru səthin modellərində şəbəkə qutusunda topoqrafik variasiyalar adətən nəzərə alınmır. Bunlardan əlavə, bir neçə torpaq rütubətliyi modellə-

rində ərazinin mailliyinin torpaqda suyun paylanmasına təsiri effekti nəzərə alınır.

Quru səth modellərinin, xüsusilə də qlobal modellərin validasiyası torpaq rütubətliyi və enerjisi, impuls, rütubət axınları və karbon axınları kimi elementlər üzərində lazımi miqdarda müşahidə məlumatlarının olmaması səbəbindən problem olaraq qalır.

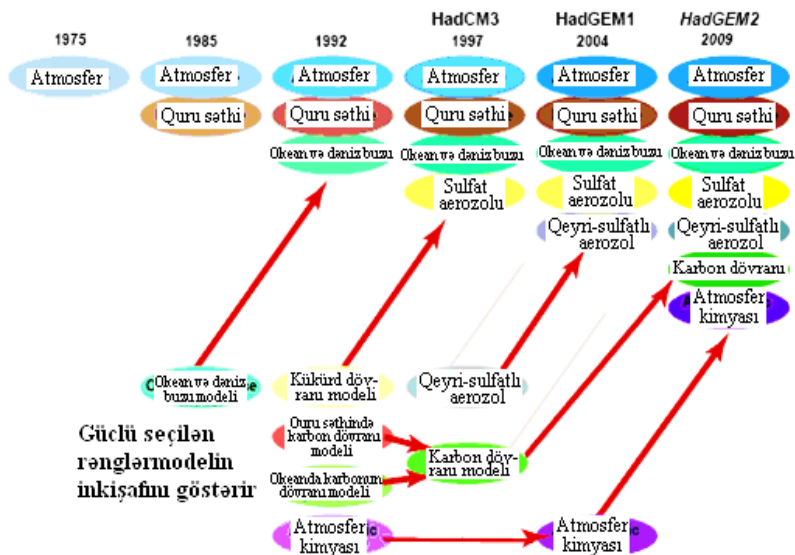
Qlobal iqlim modellərinin yaradılmasının inkişaf tarixi şəkil 13.22-də təsvir olunmuşdur. Burada modellərin hazırlanmasında modelə daxil edilmiş mühitlər və iqlim dəyişmələrinə təsir edən amillər göstərilmişdir.



Şəkil 13.22. İqlim modellərinin yaradılmasının tarixi inkişafı

İqlim modellərinin hazırlanmasının konkret mərkəzlərindən biri olan Hadley mərkəzinin modellərinin (*HadGEM2*) ta-

rixi aspektdə inkişafı şəkil 13.23-də və cədvəl 13.1 göstərilmişdir. Cədvəldə modellərin adları və eksperimentlərin illər üzrə keçirilmə tarixləri verilmiş, o cümlədən əsas tədqiqat obyekti kimi okean ekosistemləri götürülmüşdür.



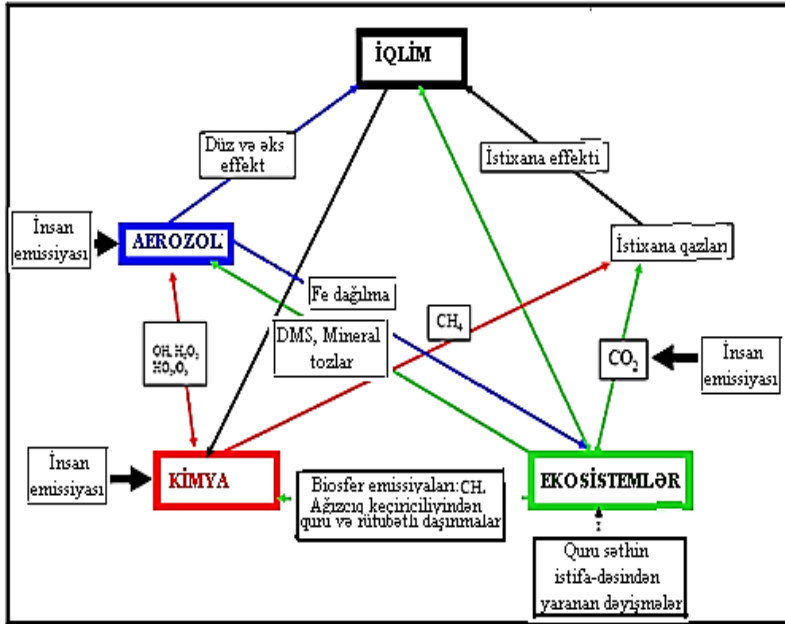
Şəkil 13.23. Hadley modellər mərkəzinin tarixi

Cədvəl 13.1

Hadley mərkəzinin modellərinin (*HadGEM2*) tarixi kontekstdə inkişafı

Modelin adı və eksperimentlər	İl	Okean	Həll etmə: coğ. enlik x; coğ. uzunluq y
UKLO	1987	Plastina-okean	5.0 x 7.5
UKHI	1990	Plastina-okean	2.5 x 3.75
UKTR	1992	20 laylı tam okean	2.5 x 3.75
HadCM2	1995	20 laylı tam okean	2.5 x 3.75
HadCM3	1998	20 laylı tam okean	2.5 x 3.75 1.25 x 1.25

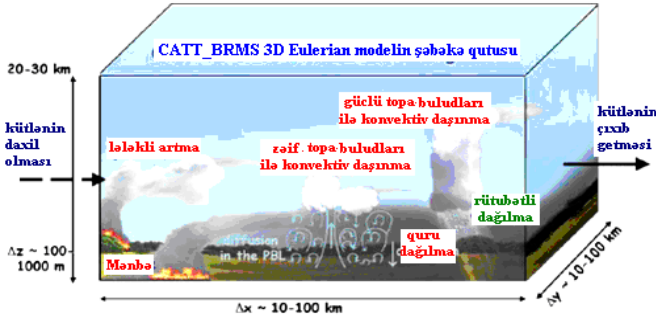
HadGEM2 modelində iqlim sisteminin ümumi sxemi şəkil 13.24-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 13.24. HadGEM2 modelində iqlim sisteminin sxemi

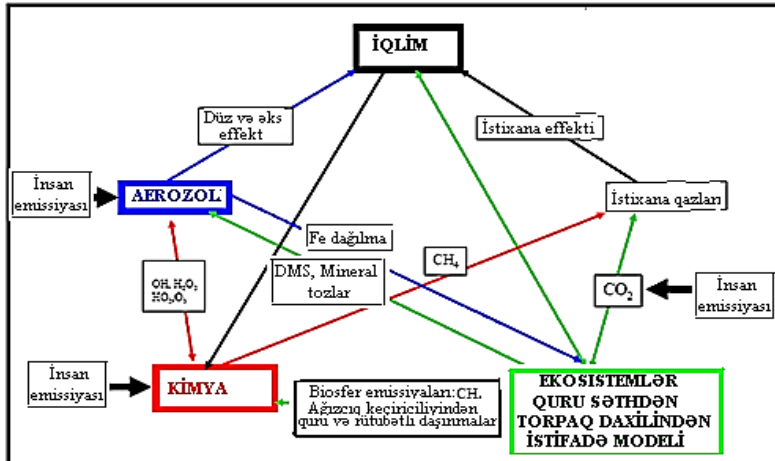
Burada nümunə kimi, HadGEM2 modelində Yer kürəsi sisteminin komponentlərinə baxaq. Hadley mərkəzinin 2-ci Qlobal ətraf mühit modeli tamamilə Yer sisteminin modelinin sürətidir. Əsas komponentləri isə aşağıdakılardır:

- Atmosfer, okean, dəniz buzu, quru səth;
- Quru ekosistemlər: dinamik vegetasiya, torpaq karbonu;
- Okean ekosistemləri: NPZD, yosunlar, qeyri-yosunlar, DMS;
- Yosunların biogeokimyəvi modeli;
- Aerosollar: sulfat, toz, dəniz duzu, BC, OC;
- Troposfer kimyası: ozon, metan, oksidlər;
- UKCA (Böyük Britaniya Kimya və Aerosollar modeli) (şəkil 13.25).



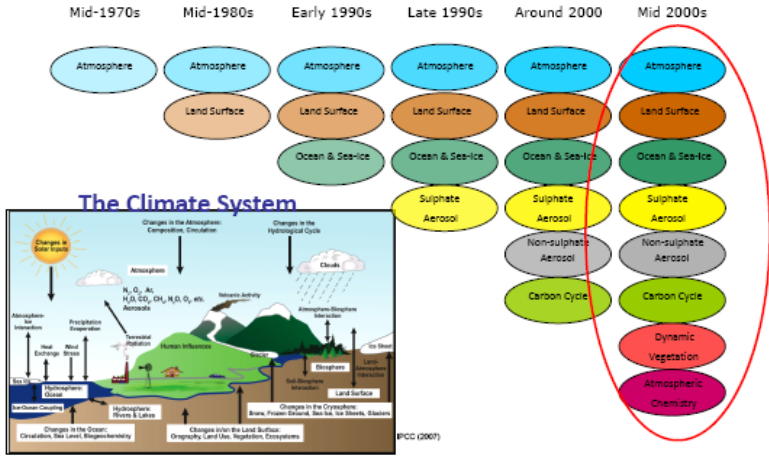
Şəkil 13.25. Birləşdirilmiş (cüt) “Kimya-aerozol-nişanlı atom” daşınması modeli

Qlobal iqlimin modelləşdirilməsinin Braziliya modelinin əsasları. Braziliyada 15 il ərzində meteorologiya və iqlimşünaslıq elm sahələrində ədədi hava proqnozları (NWP), ədədi mövsümi iqlim proqnozları (NSCP), regional iqlim dəyişmələrinin modelləşdirilməsi, hava durumunun proqnozlaşdırılması və iqlimin modelləşdirilməsi istiqamətlərində əhəmiyyətli uğurlar əldə olunmuşdur. Braziliya modelində qlobal iqlim sisteminin (BMGCS) sxemi şəkil 13.26-da təsvir olunmuşdur.

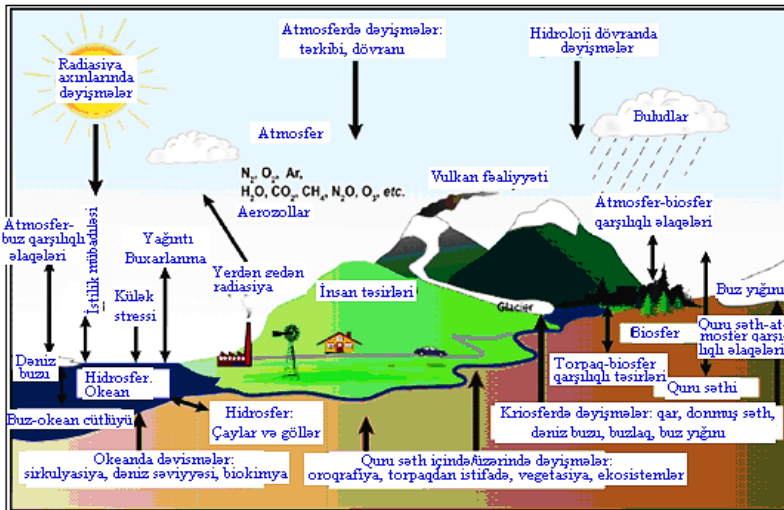


Şəkil 13.26. Braziliya modelində iqlim sisteminin sxematik təsviri

Qlobal iqlim sisteminin Braziliya modelinin yaradılmasının inkişaf tarixi və modeldə istifadə olunan mühit və təsir edən amillərin işarəli modeli şəkil 13.27-də, konseptual sxemi isə şəkil 13.28-də verilmişdir.

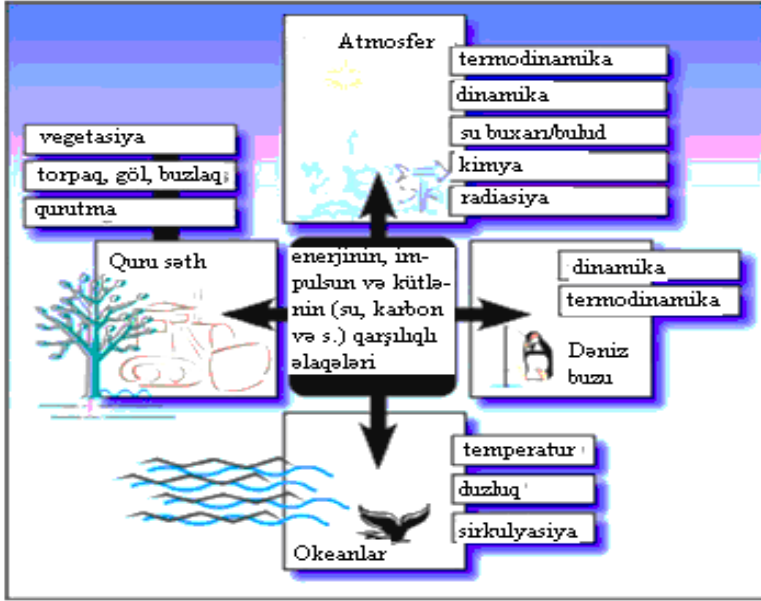


Şəkil 13.27. Qlobal iqlim sisteminin Braziliya modelinin yaradılmasının inkişaf tarixi



Şəkil 13.28. Qlobal iqlim sisteminin Braziliya modelinin konseptual sxemi

Birləşdirici xətlərlə (qara) əlaqələndirilmiş modullar: model komponentləri arasında axınların daşınmasını təmin edən proqram şəkil 13.29–da təsvir olunmuşdur.

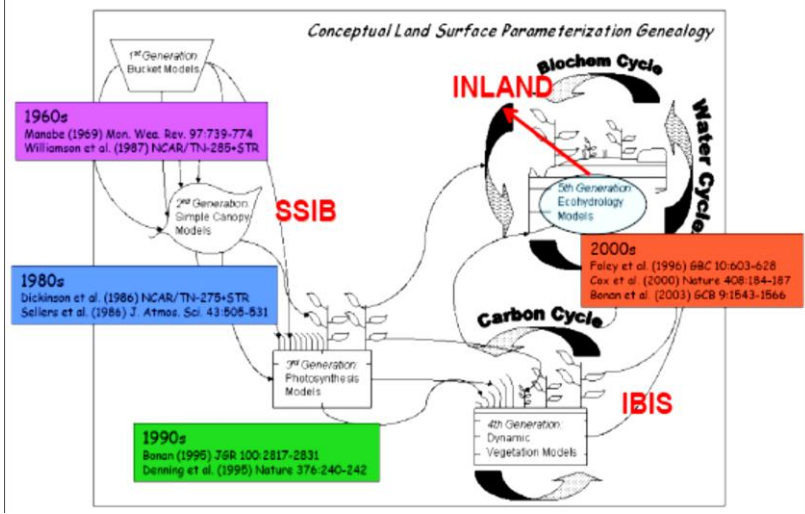


Şəkil 13.29. Birləşdirici xətlərlə (qara) əlaqələndirilmiş modullar və model komponentləri arasında axınların daşınmasını təmin edən proqram

Qlobal birləşmiş okean-atmosfer modelinin (CPTEC) strukturu aşağıdakı bloklardan ibarətdir: •Karbon dövrəni ilə vegetasiyanın dinamikası; •Okean karbon dövrəni; •Artan dəniz buzı və buzun yığılması; •Parnik qazları və aerosollar; •Atmosfer kimyası və s.

Quru səthin modeləşdirilməsinə daxil edilmiş proseslər aşağıdakılardır: •Kütlə və enerji mübadiləsi; •Fotosintez; •Vegetasiyanın dinamikası; •Yerlə bağlı karbon dövrəni; •Yerlə bağlı digər biogeokimyəvi dövrənlər (azot və s.); •Kənd təsərrüfatında torpaqdan istifadə; •Urbanlaşdırılmış ərazilər; •Miqdarı cüzi olan qazların emissiyası, vulkan külü, toz və

aerозollar; •Enli buz zolaqları; •Qurunun hidrоlogiyası və yeraltı sular. Quru səthinin parametrizasiyasının genealogiyası şəkil 13.30-də verilmişdir.



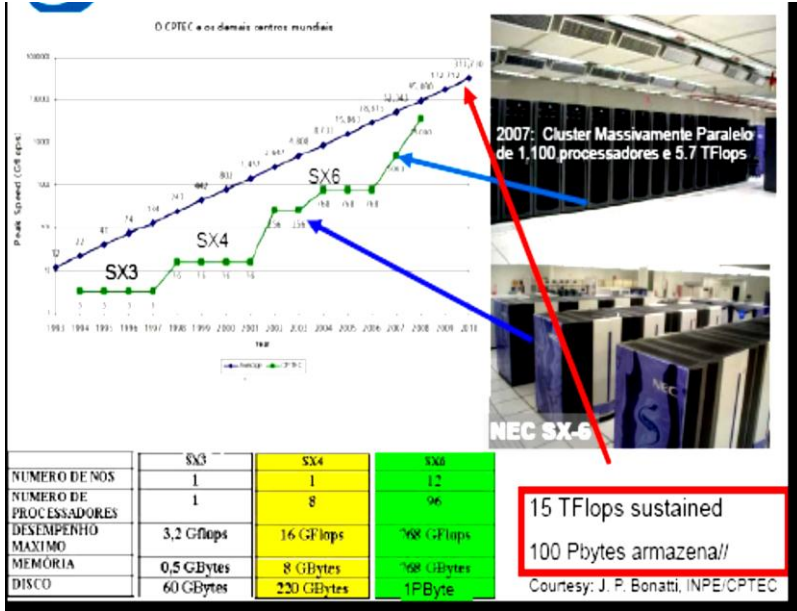
Şəkil 13.30. Quru səthinin parametrizasiyasının genealogiyası

Çay axını və subasmaya (daşqına) məruz qalmış ərazilərin modelləri Amazon, Pantanal və Araquaiya çayları üçün tətbiq edilmişdir və səth ilə atmosfer arasında axınlar mübadiləsi, hidrоlogiya və karbon dövrünü üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Yuxarıda göstərilədiyi kimi, qlobal iqlim sistemi modelləri böyük superkompüterlər tələb edir. Şəkil 13.31-də Braziliyanın qlobal iqlim modeli vasitəsilə hesablamaların aparılması üçün istifadə olunan superkompüter sistemi barədə məlumat verilmişdir.

İqlimin qlobal istiləşməsinin qlobal karbon və enerji dövrünün birləşdirilmiş (cüt) modelinin əsasları. Karbon qazının konsentrasiyasının antropogen artması ilə əlaqədar iqlimin qlobal istiləşməsinin hesablanması üçün yapon alimlərinin (Ichii K. et al.) hazırladığı Yer sisteminin sadə modeli enerji və kütlənin dörd-sferalı dövrünü (4-SCEM) modelidir. Model "Atmosfer-

Yer sistemində istiliyin dövrünü (AEHC)”, “Dörd sferalı karbon dövrünü (4-SCC) və onların əks əlaqəli proseslərini təsvir edən submodelindən ibarətdir.



Şəkil 13.31. Braziliyanın qlobal iqlim modeli vasitəsilə hesablamaların aparılması üçün istifadə olunan superkompüter sistemi

AEHC birözlü şüalanma-konvektiv submodeldir və onun tərkib hissələri CO₂ və H₂O istixana effektləri və bir təbəqəli bulud layıdır. 4-SCC – “qutu”-növlü karbon dövrünü submodelidir və onun tərkib hissələri biosfer CO₂-nin mənim-sənilməsi, bitki örtüyünün ərazi üzrə yayılma variasiyası, vegetasiya dövrünün işıqla doyması və okeanik karbon dövrünü (HILDA) təşkil edir. Karbon dövrünü ilə iqlim arasında əks əlaqə prosesləri submodeldə temperaturun, su buxarının həcmindən, torpaqdakı dağılmadan və okean səthinin kimyasından asılılığına baxılır. Enerji və kütlənin dörd-sferalı dövrünü modelinin sxematik təsviri şəkil 13.32-də verilmişdir.

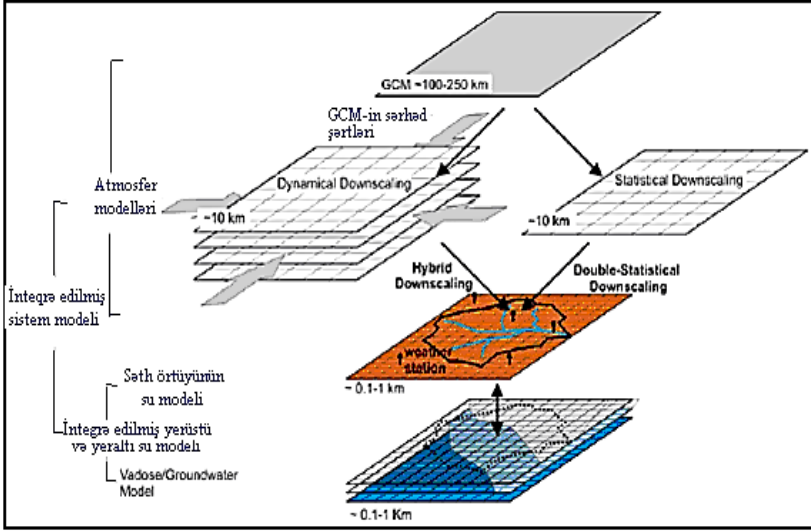
Bu modeldə dörd qutu (tərkib hissə) kimi təqdim olunan atmosfer, quru səthi, okean və buz AOGCMs modellərinin başlıca komponentləridir. AOGCMs modellərindəki Yer sistemi modellərini uyğun biogeokimyəvi dövranları dörd-qutulu konstruksiyaya (karbon rezervuarı kimi çıxış etməyən dəniz buzu ilə birlikdə) daxil etməklə, genişləndirmək olar. Şəkil 13.33-də verilmiş rəqəmlər 1990-cı illərə aiddir. Metan kimi qazlarla əlaqəli olan kiçik axınlar (≤ 1 PgC/il) göstərilməmişdir.

İnteqrə edilmiş hidroloji modelin qlobal iqlim modelləri ilə əlaqələrinin əsasları. Qlobal iqlim modellərinin yaradılmasının məqsədlərindən biri gözlənilən iqlim dəyişmələrinin və iqlim variasiyalarının su ehtiyatlarına və ekosistemlərə təsirinin qiymətləndirilməsidir. Buna görə də müxtəlif ölkələrin tədqiqatçıları inteqrə edilmiş modellərin hazırlanması istiqamətində fəaliyyət göstərirlər. Bu kontekstdə inteqrasiya atmosfer və hidroloji modellər arasında aparılır.

Belə inteqrasiya iqlim layihələrinin (məsələn, atmosfer yağıntılarının miqdarının və havanın temperaturunun hesablanması) qlobal iqlim modellərinin miqyaslarının böyüdülməsi və korrektə yolu ilə aparılması və alınan məlumatların hidroloji modelə giriş məlumatları qismində daxil edilməsi kimi həyata keçirilir.

İnteqrə edilmiş modellər su menecerlərinə və siyasətçilərə gələcəkdə gözlənilən iqlim dəyişmələri şəraitində sudan istifadələri lazımı vaxtda və lazımı keyfiyyətli su ilə təmin etmək işlərinin planlaşdırılmasında və qərarların qəbul edilməsində mühüm informasiya ilə təmin edə bilər (şəkil 13.34).

İnteqrə edilmiş modelləşdirmədə miqyasın böyüdülməsi vacib addımdır, belə ki, GCM modellərində hesablanmış havanın temperaturunun və atmosfer yağıntılarının məkana görə (~100 – 250 km) həll edilməsi suayırıcıların hidroloji modelləşdirilməsinin miqyası üçün çox pis işlənmişdir.



Şəkil 13.34. Modelin təbəqələri arasında əlaqələri əks etdirən modelin inteqrə edilmiş sisteminin quruluşu (izahı mətndə verilmişdir)

GCM modellərinin miqyasın böyüdülməsi məlumatları hündürlüyə görə həssas olan hidroloji proseslərin (məsələn, qar yığının artmasının inkişafı, qarın əriməsindən yaranan səth axınları, torpağın rütubətliyi, cəm buxarlanma (fiziki buxarlanma+transpirasiya)) lazımı səviyyədə hesablanması üçün lazımdır. Daha etibarlı GCM modellərinin çıxış məlumatlarının miqyaslarının böyüdülməsi üçün bir çox üsullardan istifadə edilmişdir. Məsələn, havanın temperaturu və atmosfer yağıntıları məlumatlarının hazırlanmasının əksər nəticələri məkana görə miqyasın ≈ 10 km olması halında alınmışdır.

İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Paşayev A.M., Quliyev H.İ., Səfərov S.H. Atmosfer proseslərinin fiziki əsasları (dərslük). Bakı. -2007. -416 s.
2. Ocaqov H.O., Hacımətov Q.N. Fövqəladə halların monitorinqi və proqnozu (dərslük), Bakı. – 2011.
3. Səfərov S.H. Aqrrometeorologiya (dərslük). – Bakı. «ZİYA» nəşriyyatı. 2011, 264 s.
4. Səfərov S.H., Mahmudov R.N. Müasir iqlim dəyişmələri və Azərbaycan. Bakı. «Ziya» nəşr., 2011, 312s.
5. Tağıyev N.F., Quliyev R.M, Mirzəyev F.Ə. İqtisadi proseslərdə riyazi modelləşdirmə (nəzəriyyə, model proseslər, test nümunələri) I hissə, Dərs vəsaiti, Bakı, ADİLOĞLU nəşr., 2012, 208 s.
6. Авдин В.В. Математическое моделирование экосистем: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. 2004. 80 с.
7. Алексеев В.В. Физическое и математическое моделирование экосистем. С.-Петербург: Гидрометеоиздат, 1992.
8. Абатурова В.С. Математическое моделирование: Пособие для учителя. М., 2005.
9. Башмаков Д.И. Системная экология (Применение системного анализа в экологии): Методические указания для студентов специальности «Биоэкология» / Сост. Д.И. Башмаков. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. - 32 с.
10. Берешко И.Н., Бетин А.В. Математические модели в экологии. Ч. 1. - Учеб. пособие. -Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. 68с.
11. Бобылев С.Н., Медведева О.Е., Сидоренко В.Н., Соловьева С.В., Стеценко А.В., Жушев А.В. Экономическая оценка био-разнообразия. / Под.ред. С.Н. Бобылева, А.А.Тишкова – М.: 1999. - 112 с.
12. Братусь А.С., Новожилов А.С., Родина Е.В. Дискретные динамические системы и математические модели в экологии: Учеб. пособие. – М.: МИИТ. 2005 –139с.
13. Булаев В.Г. Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях: учеб.-метод. Пособие. –Екатеринбург: УрГУПС, 2011 -130 с.

14. Дорожко С.В., Хорева С.А. Основы экономики природопользования (практикум). Учебно-методическое электронное издание, Минск, БНТУ, 2008.
15. Дромашко С.Е. Математическое и компьютерное моделирование в биологии: учеб-метод. Пособие. Минск: ИПНК, 2009. - 65с.
16. Голованов Е.Б. Экономика природопользования: текст лекций.– Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009 – 138 с.
17. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности. <http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr347/gubenko.pdf>.
18. Егармин П.А. Система детальной оценки пожарной опасности лесной территории. / Автореф дисс. на соиск. уч. степ. кан. тех. наук. Красноярск, 2005.
19. Ионисов А.С. Математическое моделирование процесса распространения активной примеси в свободной и облачной атмосфере. - Ставрополь: 2003. 190 с.
20. Козлитин А. М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учеб. пособие. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2000. 124с.
21. Крапивин В.Ф., Кондратьев К.Я. Глобальные изменения окружающей среды: экоинформатика. - С.-Пб., 2002. - 724 с.
22. Кузеванов К.И., Савичев О.Г., Решетько М.В. Математическое моделирование процессов в компонентах природы: учебное пособие. / Изд-во Томского политехнического университета, 2011, 146с.
23. Мартынов Г.П. М 294 Математические аспекты в экологии: Конспект лекций. –Электронное издание, Новосибирск: СГГА, 2012. – 77 с.
24. Математическое моделирование в экологии: курс лекций / сост. Н.Е. Горковенко – Краснодар: КубГАУ, 2015. – 45 с.
25. Математическое моделирование: Методы описания и исследования сложных систем. М.: Наука, 1989.- 271 с.
26. Математическое моделирование в искусственных экосистемах (Курс лекций. Авторы-составители: доцент кафедры экологии и охраны природы УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат технических наук В.Е. Савенок; доцент кафедры экологии

и охраны природы УО «ВГУ им. П.М. Машерова», кандидат биологических наук М.В. Шилина, 2010, 95 с.

27. Методика оценки последствий химических аварий (Методика "ТОКСИ". Вторая редакция). М.: НТЦ "Промышленная безопасность", 1999, 83с.

28. Мехтиев А.Ш., Байрамов А.А. Экологический анализ объектов окружающей среды, Баку, 2005, 294 с.

29. Несговорова Н.П., Савельев В.Г. Основы системного анализа и моделирования экологических систем. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. – 234 с.

30. Пономарев Е.И., Сухинин А.И. Комплексная оценка пожарной опасности и прогнозирование энергетических параметров лесных пожаров с использованием геоинформационных баз данных.http://www-sbras.nsc.ru/win/gis_new/lib/publ/b11/su99.htm

31. Пономаренко А.Н. Разработка методологии рыночной оценки водных ресурсов // Доклад Научно-методологическому совету Росстата, Москва, 31 марта 2014 г., Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».

32. Преснухин В.И., Повалихин М.Г. Основные принципы оценки природных условий и ресурсов для целей их хозяйственного освоения.http://vestnik.yspu.org/releases/2010_e2g/22.pdf, 2010,с.119-125.

33. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах / Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Шведовский П.В. -Алматы: Издательство "Каганат", 2003. - 532с.

34. Ревич Б.А., Сидоренко В.Н. Экономические последствия воздействия загрязненной окружающей среды на здоровье населения //Пособие по региональной экологической политике / под. ред. В.М. Захарова, С.Н. Бобылева. - М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. - 56 с.

35. Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии. -Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 184 стр.

36. Роговая О.Г. Экологическое моделирование: практика: Учебно-методическое пособие. – СПб.: ООО «Книжный Дом», 2007. – 104 с.

37. Руководство по прогнозу загрязнения воздуха РД 52.04.306-92/www.bankstandartov.ru/preview/rd/rd...92/index.html.
38. Сафаров С.Г. Прикладное динамическое моделирование водно-теплового режима системы 'почва- растение-атмосфера' (монография), -Баку: "Элм". -1999. -230 с.
39. Сафаров С.Г. Агрометеорологические аспекты прикладного динамического моделирования продуктивности зерновых культур (монография). Изд-во БГУ, Баку, 2003, 179 с.
40. Сафронова Т.И., Степанов В.И. Математическое моделирование в задачах агрофизики. – Краснодар, 2012 , 110 с.
41. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеоиздат, 1981, 168с.
42. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. Вводный курс: учебное пособие. Изд. 4-е, 2004.
43. Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биогеохимических циклов углерода и азота / Дисс. на соиск. уч. ст. док. ф-м.н, Москва, 1992.
44. Уланова Е.С., Сиротенко О.Д. Методы статистического анализа в агрометеорологии. Л., Гидрометеоиздат, 1968, 198с.
45. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2007. – с.137–151.
46. Andrew J. Dowdy, Graham A. Mills, Klara Finkele, William de Groot. Australian fire weather as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index ^CAWCR Technical Report - 2009. - No. 10. - P. 91.
47. Bader D., Covey C., Gutowski W., Held I., Kunkel K. "Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations" (2008). *US Department of Energy Publications*. Paper 8. <http://digitalcommons.unl.edu/usdoepub/8>.
48. Chen F. and Dudhia J. 2001: Coupling an advanced land surface–hydrology model with the Penn State–NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity, *Monthly Weather Review*, 129, 569–585.
49. Costanza R. Integrated Dynamic Ecological Economic Modeling (GUMBO et al.) /<http://www.uvm.edu/giee>.

- 50.** Coupling Process and Model Studies of Ocean Mixing to Improve Climate Models—A Pilot Climate Process Modeling and Science Team, a U.S. CLIVAR white paper by Schopf et al. (2003).
- 51.** Freitas et al., 2009. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS) – Part 1: Model description and evaluation. // *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 2843–2861, 2009.
www.atmos-chem-phys.net/9/2843/2009/.
- 52.** De Groot W.J., Flannigan M.D., Amiro B.D. and Stocks B.J. Fire Management Adaptation to Future Climate Change in Canada/<http://www.fire.uni-freiburg.de/summit-2003/3-IWFC/Papers/3-IWFC-107-deGroot.pdf>.
- 53.** Hanasaki N., Kanae S., Oki T., Masuda K., Motoya K., Shirakawa N., Shen Y., Tanaka K. An integrated model for the assessment of global water resources –Part 1: Model description and input meteorological forcing // *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, 1007–1025, 2008, www.hydrol-earth-syst-sci.net/12/1007/2008/N. Hanasaki et al.: An integrated global water resources model – Part 1 1009.
- 54.** Jack D. Cohen, John E. Deeming the National Fire Danger Rating System: Basic equations // General Technical Report PSW-82. Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California. - 1985. P. 23.
- 55.** Ichii K., Matsui Y., Murakami K., Mukai T., Yamaguchi Y. and Ogawa K. A simple global carbon and energy coupled cycle model for global warming simulation: sensitivity to the light saturation effect // Tokyo, Japan.
- 56.** Kaduk J., Heimann M. A prognostic phenology scheme for global terrestrial carbon cycle models//*Climate Research*, 1996, vol.6, pp.1-19.
- 57.** Mejia John F., Huntington Justin, Hatchett Benjamin, Koracin Darko, and Niswonger Richard G. Linking Global Climate Models to an Integrated Hydrologic Model: Using an Individual Station Down-scaling Approach //Universities Council on Water Resources Journal of Contemporary Water Research & Education Issue 147, Pages 17-27, March 2012.
- 58.** Milly P.C.D., Shmakin A.B. Global Modeling of Land Water and Energy Balances. Part I: The Land Dynamics (LaD) Model // *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 3, June, 2002, pp. 283-289.

- 59.** Moiseev N.N., Aleksandrov V.V., Krapivin V.F., Lotov A.V., Svirezhev Y.M. and Tarko A.M. Global Models, The Biospheric Approach (Theory of the Noosphere) // IIASA Collaborative Paper July 1983.
- 60.** Nobre P., Bonatti J.P., Chan Ch.S., Costa M., Freitas S., Marengo J., Longo K., Sampaio G., Nobre C.A. Global Climate Modeling: The Challenge to Create a World-Class Model in Brazil // Latina American Faculty Summit 2010 Guarujá, Brazil, 12 May 2010.
- 61.** Saito M., Ito A., and Maksyutov S. Optimization of a prognostic biosphere model in atmospheric CO² variability and terrestrial biomass//Geosci. Model Dev. Discuss., 6, 4243–4280, 2013, www.geosci-model-dev-discuss.net/6/4243/2013/doi:10.5194/gmdd-6-4243-2013.
- 62.** Thomas A. Wordell, Timothy J. Brown. Forecasting Fire Danger Indices in the United States // Wildfire conference materials. - 2007.

Bədəlova A.N., Səfərov S.H., Ramazanov K.Ş.
EKOLOJİ PROSESLƏRİN MODELƏŞDİRİLMƏSİ
Dərslik

Dərslik «Mülki Aviasiya»
redaksiya heyəti tərəfindən baxılmış
və çapına icazə verilmişdir.

Çapa hazırlanmışdır 03.10.2018.
Texniki redaktor: Ramazanadə A.M.
Korrektor: Əliyeva O.V.

Dərslük «Azərbaycan Hava Yolları»
Qapalı Səhmdar Cəmiyyəti
Milli Aviasiya Akademiyasının
Poliqrafiya Mərkəzində çap olunmuşdur.
Format 60×84¹/₁₆

Tirajı 20 nüsxə.