

Қазақстан республикасының
табиғи ресурстар және
қоршаған ортаны қорғау
Министрлігі

Республикалық мемлекеттік
"Қазгидромет" кәсіпорны

Министерство природных
ресурсов и охраны окружающей
среды республики Казахстан
Республиканское
государственное предприятие
"Казгидромет"

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

Әр тоқсанда шығарылатын
ғылыми-техникалық журнал

№3-4

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

Ежеквартальный
научно-технический журнал

АЛМАТЫ
2000



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Кудеков Т.К., генеральный директор РГП "Казгидромет", канд. геол.-мин. наук (председатель); Медеу А.Р., директор института географии МОиН РК, доктор геогр. наук (зам. председателя); Ахметов А.С., вице-министр МОиН РК, доктор техн. наук; Бейсенова А.С., зав. кафедрой АГУ, чл.-корр. НАН РК, доктор геогр. наук; Мусатаев М.Х., вице-министр МПРООС РК, доктор экон. наук; Болдырев В.М., декан КазГУ, доктор геогр. наук; Госсен Э.Ф., академик НАН РК, доктор с.-х. наук; Бишимбаев В.К., ректор Таразского ГУ, чл.-корр. НАН РК, доктор техн. наук; Чередниченко В.С., зав. кафедрой КазГУ, профессор КазГУ, академик АН Высшей школы, доктор геогр. наук; Чигаркин А.В., зав. кафедрой КазГУ, доктор геогр. наук; Ахмеджанов Т.К., зав. отделом ВАК МОН РК, доктор геогр. наук.

Редакционная коллегия

Бурлибаев М.Ж., директор КазНИИМОСК, канд. геогр. наук (председатель); Кожихметов П.Ж., директор Центра научно-методических разработок РГП "Казгидромет", канд. техн. наук (зам. председателя); Семенов О.Е., ВНС КазНИИМОСК, канд. физ.-мат. наук (зам. председателя); Иякина Н.И., СНС Гидрометцентра, канд. геогр. наук (ответственный секретарь); Бельгибаев М.Е., профессор КазГУ, доктор геогр. наук; Степанов Б.С., ГНС КазНИИМОСК, доктор геогр. наук; Акбасова А.Д., профессор, доктор техн. наук; Турсунов А.А., профессор, доктор техн. наук; Достай Ж.Т., доктор геогр. наук; Амиргалиев Н.А., доктор геогр. наук; Уманец В.Н., профессор, доктор геогр. наук; Подольный О.В., доктор геол.-мин. наук; Сидыков Д.Ш., зав. кафедрой КазНТУ, доктор геол.-мин. наук; Муртазин Ф.З., директор ЦНЗПС, канд. геол.-мин. наук; Галаева О.С. (компьютерная правка).

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

№ 3 - 4

©

Журнал выходит 4 раза в год.

Регистрационное свидетельство № 1538

Министерства печати РК

Подписной индекс 75855.

Подписано в печать 29.08.2001

Формат 70x100/16 Печать офсетная Бумага офсетная

Объем 28, 6 п. л. Тираж 500 экз. Заказ 236

Цена договорная

Типография КазгосИНТИ

480096 г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 22

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

А.Х. Ахмеджанов, Л.А. Балакай Региональная модель численного анализа метеорологических полей для территории Казахстана . . .	7
К.Б. Бакиров, П.Ж. Кожакметов Оценка роли орографии на распределение атмосферных осадков во внутреннем Тянь-Шане	16
О.Е. Семенов Об ускорении потока во время сильных песчаных и пылевых бурь	23
А.О. Подрезов Сильные ветры на территории Кыргызстана	49
В.В. Голубцов Гидравлические сопротивления и расчет средней скорости течения полугорных и горных потоков	59
В.В. Голубцов, В.И. Ли, П. Попова О влиянии антропогенных изменений климата на уровень Каспийского моря	84
Б.С. Степанов, Р.К. Яфязова Оледенения Заилийского Алатау	100
М. Ж. Бурлибаев, Р.К. Кайдарова, А.Н. Клец, Л.В. Ляшенко Концепция единой системы экологического мониторинга г. Алматы	109
Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева, С.И. Умирзаков Методологические основы ландшафтно-экологического районирования природной системы	146
К. Б. Исентаев, Е. А. Камеев, И.И. Скоцеляс Воздействие повышения уровня воды Каспийского моря на окружающую среду	160

Г.Д. Садыкова	
Содержание 3,4-бензпирена в атмосферном воздухе г. Алматы	169
Л.М. Павличенко	
К вопросу согласования геоэкологических моделей на примере анализа динамики гидрогеохимических условий	179
М.М. Бураков, Л.М. Павличенко	
Системные принципы организации мониторинга подземных вод с позиций гидрогеологического районирования	194
Т.К. Ахмеджанов, Г.Ж. Кенжетаяев	
Экологически безопасные пути повышения эффективности добычи и транспортировки высоковязкой нефти	214
С.М. Койбаков, С.Р. Турганалiev	
Влияние ветрового заноса каналов песком на их эксплуатацию в условиях северного Казахстана	219
Койбаков С.М.	
К вопросу надежности работы каналов в условиях переноса ветром сорной растительности	225
Н.К. Калининчук	
Исследование системы автоматического регулирования процесса очистки сточных вод в дрожжевом производстве	230
Н.К. Калининчук, М.Ш. Джунисбеков	
Автоматизация аэробно-биологической очистки сточных вод дрожжевого производства	240

CONTENTS

SCIENTIFIC ARTICLES

A.H. Akhmedjanov, L.A. Balakay The Regional Model of the Meteorological Fields Numerical Analyze for the Kazakstan Republic	7
K.V. Bakirov, P. Zh. Kozhahmetov Appraisal of the Orography Role on the Precipitations Distribution in Inner Tian-Shan	16
O.E. Semenov About Acceleration of Air Stream in the During Period of Strong Sand and Dust Storms	23
A.O. Podrezov Strong Winds in the Territory of Kiyrgyzstan	49
V.V. Golubtsov Hydraulic Resistances and Calculation of Mean Velocity for Middle Mountain and Mountain Streams.	59
V.V. Golubtsov, V.I. Lee, V.P. Popova Influence of Anthropogenic Climate Changes on the Caspian Sea Level	84
B.S. Stepanov, R.K. Yafyazova Glaciations of the Zailiyskiy Alatau Mountains	100
M.Zh. Burlibayev, R.K. Kaydarova, A.N. Klets, L.V. Lyaschenko Conception of the Unified System of Almaty Ecological Monitoring	109

Zh.S. Mustafayev, S.I. Umirzakov, A.T. Koziykeyeva	
Methodological Fundamentals of the Landscape-ecological Region of the Natural System	146
K.B. Isentaev, E.A. Kamenev, I.J. Skotselyas	
Influence of the Water Level Caspian Sea Rise to Environment	160
G.D. Sadiykova	
Concentration of the 3,4-benzpyrene in Almaty Air	169
L.M. Pavlyuchenko	
To the Problem of the Geocological Models Coordination on an Example of the Hydrogeochemical Conditions Dynamics Analysis	179
M.M. Burakov, L.M. Pavlyuchenko	
System Principles of Underground Waters Monitoring Organization in Principles Hydro-geological Region	194
T.K. Akhmedzhanov, G.Zh. Kenzhetayev	
Ecological Safety of Efficiency Increase of High-viscosity Oil Extraction and Transportation	214
S.M. Koybakov, S.P. Tyrganaliyev	
Influence of Wind Drift by Sand on Channels Exploitation in the Northern Kazakhstan Conditions	219
S.M. Koybakov	
To the Problem of Channel's Reliability in Conditions of Weed Wind Transfer	225
N.K. Kalinchuk	
Investigation of Automatic Regulation System of Peeling the Senage Water Process in Yeast Production	230
N.K. Kalinchuk, V.Sh. Djunisbekov	
Automation of Air-biological Process of the Sewage in Yeast Production	240

УДК 519.713; 519.711:53

**РЕГИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ
КАЗАХСТАНА**

Канд. геогр. наук А.Х. Ахмеджанов

Л.А. Балакай

Разработана региональная модель численного анализа метеорологических полей для территории Казахстана. Первый этап расчета состоит в интерполировании данных метеостанций в узлы регулярной сетки, второй этап – в согласовании полученных значений метеозлементов на основе географических соотношений.

Развитие вычислительной техники повлекло за собой пересмотр методов обработки метеорологических данных и методов их представления для оперативного прогноза погоды. Первые существенные результаты были получены при интерполировании данных нерегулярной сети наблюдений на регулярную сетку с применением методов полиномиальной и оптимальной интерполяции [1,2]. Существует ряд других методов анализа данных, среди которых основными являются: метод взвешенного среднего, весовая анизотропная интерполяция и метод последовательных приближений (коррекции) [3,4]. Каждый из указанных выше методов обладает определенными достоинствами и недостатками.

Достаточно простое представление интерполируемых величин в виде полиномов является преимуществом метода полиномиальной интерполяции, а основной недостаток связан с тем, что реальные метеорологические поля часто плохо описываются кривыми 2-го и 3-го порядков. В случае редкой сети наблюдений некоторые значения коэффициентов интерполяции оказываются сильно зависящими от ошибки измерений, что может приводит к большим ошибкам интерполяции.

В методе оптимальной интерполяции предполагается однородность и изотропность полей аномалий исследуемых метеорологических элементов. В действительности это выполняется далеко не всегда, что снижает качество интерполяции в целом. Метод предполагает необходимость знания корреляционных функций, что требует анализа большого

банка данных. Определенным недостатком метода последовательных приближений является некоторая произвольность при построении предварительного поля, а также при выборе весов для соответствующих пунктов наблюдений в зависимости от их плотности и расстояний между ними.

Проблема формальной интерполяции является первым этапом обработки метеорологической информации. На втором этапе необходимо согласовать между собой полученные значения метеозлементов. Теоретические модели прогноза погоды и климата накладывают жесткие условия на обработку начальных полей с точки зрения их согласованности. Эта задача существенно обогащает содержание объективного анализа, поставив проблему обработки данных на один уровень с методами прогноза погоды. Общий вариационный метод был описан в работе [3], в котором вариационная задача сводилась к решению краевой задачи. В работе [5] описана региональная модель объективного анализа для территории Казахстана. В [3] показано, что для трех- четырехмерного анализа наиболее подходящим и эффективным является метод весовой анизотропной интерполяции (ВАИ).

Пусть $f_m(x, y, z)$ - данные измерений определенного метеозлемента в трехмерном пространстве, m - количество пунктов наблюдения. Тогда его значение в любой точке пространства можно описать формулой:

$$f(x, y, z) = \frac{\sum_{k=1}^m a_k \cdot f_k}{\sum_{k=1}^m a_k}, \quad (1)$$

где a_k - веса, которые в свою очередь определяются из решения следующей системы линейных уравнений:

$$\sum_{k=1}^m a_k \cdot r_{kv} = r_{0v}, \quad (v = \overline{1, m}), \quad (2)$$

где r - расстояние между точками, в которых имеются известные значения интерполируемой величины.

Учет высоты расположения пункта наблюдений позволяет учитывать рельеф рассматриваемого района. Интерполированное значение будет равно начальному его значению, если узел сетки случайно совпадает с координатами пункта наблюдений, а при вычислении весов учитываются особенности расположения пунктов наблюдений. Двумерный случай применения метода ВАИ испытан достаточно полно. Проблема его приме-

ния для больших размерностей заключается в неравноправности различных координат по отношению к метеорологическим полям. К примеру, заметно отличаются масштабы метеорологических элементов по вертикали и по горизонтали. Для рационального использования этого метода необходимо провести определенное преобразование многомерного пространства с целью достижения равнозначности размерности. Наиболее простым методом введения равнозначности являются множители при соответствующих координатах. Если u и v две точки, отстоящие друг от друга на некотором расстоянии, то в качестве метрики может использоваться следующее выражение:

$$r_{uv} = \sqrt{(X_u - X_v)^2 + (Y_u - Y_v)^2 + c_z^2 (Z_u - Z_v)^2}, \quad (3)$$

где c_z^2 - параметр, значение которого устанавливается путем оптимизации диагностических или прогностических значений интерполируемой функции. Для метеорологических полей, согласно [3], оптимальное значение $c_z^2 = 0,6$.

Система линейных алгебраических уравнений (2) решается методом Гаусса, рекуррентные формулы которого позволяют отыскивать искомые значения весов a_i при любом значении m . Интерполированные значения не всегда согласуются между собой, то есть не всегда представляют собой единый поток. На это влияют ошибки измерений рассматриваемых величин.

Рассмотрим вопрос согласования геопотенциала и поля ветра на основе геострофических соотношений. Обозначим интерполированные значения геопотенциала через H_0 , компоненты ветра через U_0, V_0 , а согласованные значения через H, U, V соответственно. Последние должны быть определены из минимума следующего функционала:

$$\iint_G [\alpha_H^2 (H - H_0)^2 + \alpha_U^2 (U - U_0)^2 + \alpha_V^2 (V - V_0)^2] dG \rightarrow \min. \quad (4)$$

При условии выполнения следующих геострофических соотношений:

$$U = -\frac{1}{f} \frac{\partial H}{\partial y}, \quad V = \frac{1}{f} \frac{\partial H}{\partial x}, \quad (5)$$

где G - рассматриваемая область $46,49^\circ \leq x \leq 87,31^\circ; 40,56^\circ \leq y \leq 55,44^\circ$, представляющая собой территорию Республики Казахстан, α_H, α_U - веса,

придаваемые значениям геопотенциала и скорости ветра, l - параметр Кориолиса (для умеренных широт $l = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$).

За параметр согласования q принимается следующее соотношение:

$$q = \frac{\alpha_H^2}{\alpha_V}$$

Будем считать, что на границе области определяемые функции принимают следующие значения: $U = U_0, V = V_0, H = H_0$.

Задача (4 - 5) сводится по средствам вариационного исчисления к решению уравнения Гельмгольца для функции φ , определяющей отклонение согласованного поля геопотенциала от интерполированного. ($\varphi = H - H_0$).

$$\Delta\varphi - ql^2\varphi = \frac{\partial V_0}{\partial x} - \frac{\partial U_0}{\partial y} - \Delta H_0 \quad (6)$$

Это уравнение решалось численным методом в конечных разностях в том же поле, на котором проводилась интерполяция. Для решения (6) могут использоваться следующие конечно-разностные соотношения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial\varphi}{\partial x} &= \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2h}, \quad \frac{\partial\varphi}{\partial y} = \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j-1}}{2h}, \\ \Delta\varphi &= \frac{\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} - 4\varphi_{i,j}}{2h^2}, \\ \Delta\varphi &= \frac{\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} - 4\varphi_{i,j}}{h^2}, \\ dx &= dy = h. \end{aligned} \quad (7)$$

С учетом (7) уравнение (6) переписывается в следующем виде:

$$\varphi_{i+1,j} + \varphi_{i-1,j} + \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} - 4\varphi_{i,j} = F_{i,j}, \quad (8)$$

где $F_{i,j} = \frac{1}{2h}(V_{0i+1,j} - V_{0i-1,j} - U_{0i,j+1} + U_{0i,j-1})$, в граничных точках $\varphi_{i,j} = 0$.

Для решения системы (8) применяется экстраполяционный метод Либмана (метод верхней релаксации), согласно которому необходимо провести следующую итерационную процедуру:

$$\varphi_{i,j}^{v+1} = \varphi_{i,j}^v + \alpha \cdot (\varphi_{i-1,j}^{v+1} + \varphi_{i+1,j}^v + \varphi_{i,j-1}^{v+1} + \varphi_{i,j+1}^v - 4\varphi_{i,j}^v - F_{i,j}), \quad (9)$$

где v - номер итерации, α - параметр релаксации.

Условием сходимости является соблюдение соотношения: $\alpha \leq 0.5$.

Итерационный процесс заканчивается при выполнении условия:

$$\begin{aligned} |N^{v+1} - N^v| &\leq N^{v+1} \varepsilon, \\ N^v &= \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{20} \varphi_{i,j}^v, \end{aligned} \quad (10)$$

где ε - требуемая точность (10^{-4}).

После определения $\varphi_{i,j}$ можно вычислить согласованный геопотенциал и сглаженное поле ветра

$$\begin{aligned} H_{i,j} &= H_{i,j}^0 + \varphi_{i,j}, \\ U_{i,j} &= u_{0,i,j} - \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2hl}, \\ V_{i,j} &= v_{0,i,j} + \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j-1}}{2hl}. \end{aligned} \quad (11)$$

Является важным представление метеорологических полей геопотенциала, поля ветра и температуры по высоте, то есть на барических поверхностях. Рассмотрим шесть стандартных барических уровней по давлению P : 1000, 850, 700, 500, 300, 200 мбар, на которых можно расположить ту же выше описанную горизонтальную сетку. Толщину слоев в атмосфере между уровнями z_1 и z_2 можно определить по барометрической формуле реальной атмосферы:

$$z_2 - z_1 = R_c \cdot \bar{T} \cdot \ln \left[\frac{P_1}{P_2} \right], \quad (12)$$

где R_c - удельная газовая постоянная водяного пара ($R_c = 461,51 \text{ м}^2/\text{с}^2\text{К}$), \bar{T} - средняя температура слоя, P_1 и P_2 - значения давления на границах слоя.

По данным высотного зондирования можно интерполировать метеоданные на указанных уровнях по формулам (1-3) и получить интерполированные поля H_0 , U_0 , V_0 , T_0 в узлах регулярной сетки.

В рамках геострофических и статистических приближений приведем вариационное согласование полей геопотенциала, ветра и температуры. Для этого требуется найти такие согласованные поля H , U , V , T , которые бы обеспечивали минимум функционала

$$\iiint_G [\alpha_H^2 (H - H_0)^2 + \alpha_V^2 (V - V_0)^2 + \alpha_T (T - T_0)^2] dG \rightarrow \min \quad (13)$$

и удовлетворяли системе соотношений:

$$U = -\frac{1}{l} \cdot \frac{\partial H}{\partial y}, V = \frac{1}{l} \cdot \frac{\partial H}{\partial x}, T = \frac{\partial H}{\partial \zeta}, \zeta = R \ln\left(\frac{P}{P_0}\right), \quad (14)$$

где $\alpha_H^2, \alpha_V^2, \alpha_T^2$ - веса, придаваемые данным геопотенциала, ветра и температуры соответственно, R - газовая постоянная для сухого воздуха ($R = 287 \text{ м}^2 / \text{с}^2 \text{ К}$); P - давление; $P_0 = 1000 \text{ мбар}$

На границе области G будем считать, что искомые функции принимают значения исходных. Функционал (13) является квадратичным и наложенные связи (14) - линейными, поэтому задача должна иметь единственное решение. Согласно теории вариационного исчисления задача сводится к решению следующего дифференциального уравнения для отклонения φ согласованного геопотенциала от интерполированного ($\varphi = H - H_0$)

$$\Delta \varphi + kl^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} - ql^2 \varphi = l \left(\frac{\partial U_0}{\partial x} - \frac{\partial U_0}{\partial y} \right) - \Delta H_0 + kl^2 \left(\frac{\partial T_0}{\partial z} - \frac{\partial^2 H_0}{\partial z^2} \right), \quad (15)$$

$$\text{где } k = \frac{\alpha_T^2}{\alpha_V^2}, q = \frac{\alpha_H^2}{\alpha_T^2}.$$

Для представления (15) в конечных разностях были использованы следующие соотношения, где μ - любая из представляемых функций

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mu}{\partial x} &= \frac{\mu_{i+1,j,k} - \mu_{i-1,j,k}}{2h}, \\ \frac{\partial \mu}{\partial y} &= \frac{\mu_{i,j+1,k} - \mu_{i,j-1,k}}{2h}, \\ \Delta \mu &= \frac{\mu_{i+1,j,k} + \mu_{i-1,j,k} + \mu_{i,j+1,k} + \mu_{i,j-1,k} - 4\mu_{ijk}}{h^2}, \\ \frac{\partial \mu}{\partial z} &= \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\mu_{i,j,k+1} - \mu_{i,j,k}}{z_{k+1} - z_k} + \frac{\mu_{i,j,k} - \mu_{i,j,k-1}}{z_k - z_{k-1}} \right), \\ \frac{\partial^2 \mu}{\partial z^2} &= \frac{1}{z_{k+1} - z_{k-1}} \cdot \left(\frac{\mu_{i,j,k+1} - \mu_{i,j,k}}{z_{k+1} - z_k} - \frac{\mu_{i,j,k} - \mu_{i,j,k-1}}{z_k - z_{k-1}} \right). \end{aligned} \quad (16)$$

Используя (16), уравнение (15) можно записать в виде:

$$\varphi_{i-1,j,k} + \varphi_{i+1,j,k} + \varphi_{i,j-1,k} + \varphi_{i,j+1,k} + a_k \varphi_{i,j,k+1} + b_k \varphi_{i,j,k} + c_k \varphi_{i,j,k-1} = F_{i,j,k}, \quad (17)$$

где

$$\begin{aligned}
 a_k &= \frac{2(hl)^2 k}{(z_{k+1} - z_k)(z_{k+1} - z_{k-1})}, \\
 c_k &= \frac{2(hl)^2 k}{(z_k - z_{k-1})(z_{k+1} - z_{k-1})}, \\
 b_k &= -4(hl)^2 q - a_k - c_k, \\
 F_{i,j,k} &= \frac{lh}{2}(V_{i+1,j,k}^0 - V_{i-1,j,k}^0 - U_{i,j+1,k}^0 - U_{i,j-1,k}^0) - (H_{i-1,j,k}^0 + H_{i+1,j,k}^0 + \\
 &+ H_{i,j-1,k}^0 - 4H_{i,j,k}^0) + k \frac{(hl)^2}{2} \left(\frac{T_{i,j,k+1}^0 - T_{i,j,k}^0}{z_{k+1} - z_k} + \frac{T_{i,j,k}^0 - T_{i,j,k-1}^0}{z_k - z_{k-1}} \right) - \\
 &- 2k \frac{(hl)^2}{z_{k+1} - z_{k-1}} \left(\frac{H_{i,j,k+1}^0 - H_{i,j,k}^0}{z_{k+1} - z_k} - \frac{H_{i,j,k}^0 - H_{i,j,k-1}^0}{z_k - z_{k-1}} \right)
 \end{aligned}$$

Для решения (17) применим экстраполяционный метод Либмана, согласно которому (17) сводится к решению итерационной процедуры:

$$\begin{aligned}
 \varphi_{i,j,k}^{v+1} &= \varphi_{i,j,k}^v + \alpha_k (\varphi_{i-1,j,k}^{v+1} + \varphi_{i+1,j,k}^v + \varphi_{i,j-1,k}^v + \\
 &+ \varphi_{i,j+1,k}^v + a_k \varphi_{i,j,k+1}^v + b_k \varphi_{i,j,k}^v + c_k \varphi_{i,j,k-1}^{v+1} - F_{i,j,k}),
 \end{aligned} \quad (18)$$

где v - порядок итерации, α_k - коэффициент релаксации.

Для обеспечения сходимости итерационного процесса необходимо выполнение условия

$$\alpha_k \leq -\frac{2}{b_k}. \quad (19)$$

Итерации заканчиваются при выполнении условия:

$$|N^{v+1} - N^v| < N^{v+1} \cdot 10^{-4}, \quad (20)$$

где $N^v = \sum |\varphi_{i,j,k}^v|$.

Значения $\varphi_{i,j,k}$ позволяют определить искомые функции

$$\begin{aligned}
 H_{i,j,k} &= \varphi_{i,j,k} + H_{i,j,k}^0, \\
 U_{i,j,k} &= -\frac{1}{hl}(H_{i,j+1,k} - H_{i,j-1,k}), \\
 V_{i,j,k} &= \frac{1}{2}(H_{i+1,j,k} - H_{i-1,j,k}), \\
 T_{i,j,k} &= \frac{1}{2} \left(\frac{H_{i,j,k+1} - H_{i,j,k}}{z_{k+1} - z_k} + \frac{H_{i,j,k} - H_{i,j,k-1}}{z_k - z_{k-1}} \right)
 \end{aligned} \quad (21)$$

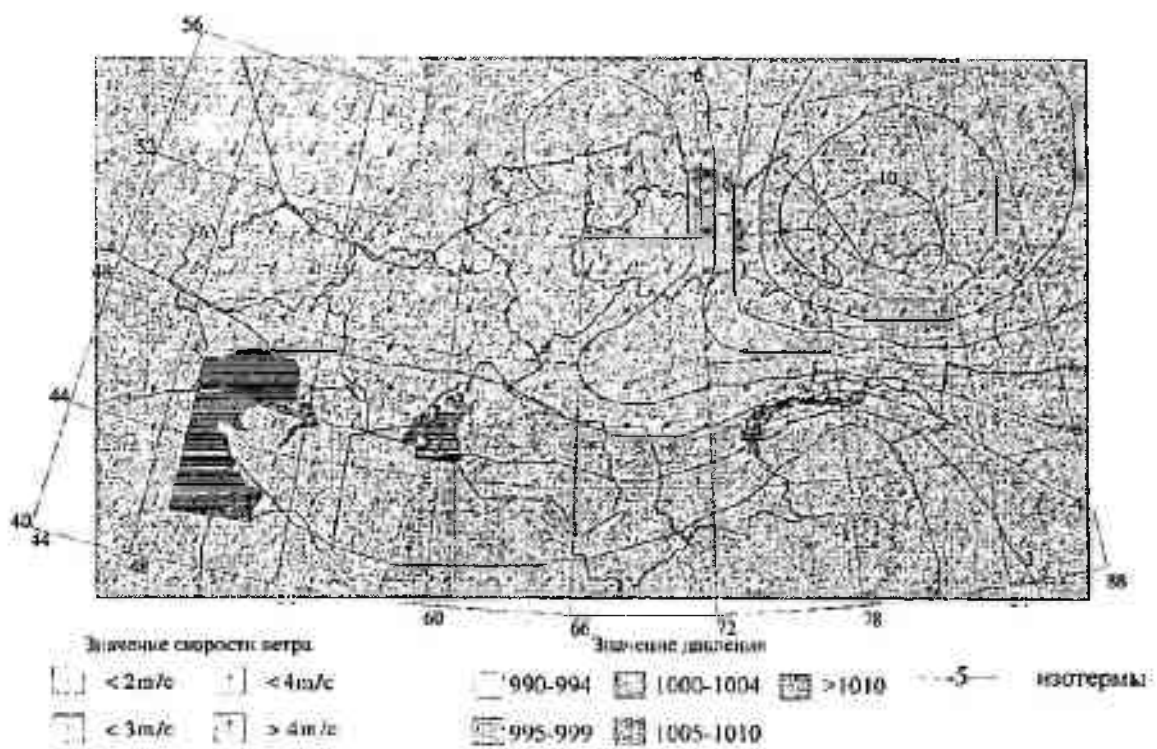


Рис. 1. Распределение давления, температуры воздуха и скорости ветра по территории Казахстана (01.01.1989год). 1000 гПа

Согласно соотношениям были рассчитаны распределения метеорологических величин по территории Республики Казахстан на сетке 151×83 с шагом 23 км. На рис.1 представлены результаты объективного анализа данных, где расчет распределения метеозлементов выполнен с использованием программного продукта ArcInfo.

Пунктами наблюдений были выбраны наиболее крупные метеостанции, входящие в список сети ВМО. Результаты численного анализа показали, что невязка значений не превышает 10%.

Региональная модель численного анализа метеорологических полей может быть использована в оперативной практике после некоторой ее привязки к сети наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенков Е.П. Физико-статистические методы анализа и предвычисления полей // Тр.ААНИИ-1969.-т.263.- с. 236-243.
2. Гандин Л.С. Об объективном анализе метеорологических полей // Материалы совещания по численным методам прогноза. - Л., Гидрометиздат, 1961.- с. 20-35.
3. Костюков В.В. Объективный анализ и согласование метеорологических полей // М., Гидрометиздат, 1982. - 180с.
4. Бабалиев А.М. Об одном методе интерполирования функций многих независимых переменных// Новосибирск, ВЦ АН СССР, 1973.-с.118-121.
5. Есауленко Л.А., Лутфулин И.З. Основные принципы разработки региональной модели объективного анализа // Алматы, Гидрометеорология, 1997. - с.23-38.

Институт космических исследований

ҚАЗАҚСТАН АУМАҒЫ ҮШІН МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ ӨРІСТЕРДІ САНДЫҚ ТАЛДАУДЫҢ АЙМАҚТЫҚ ҮЛГІСІ

Геогр.ғылымдарының канд. А.Х. Ахмеджанов
Л.А. Балақай

Қазақстан аумағы үшін метеорологиялық өрістерді сандық талдаудың аймақтық үлгісі жасалған. Есептеудің бірінші кезеңі метеостанциялардың мәліметтерін жүйелі кесте тораптарына интерполяциялауда, ал екінші кезеңі алынған метеозлементтердің мағыналарын геострофиялық қатынастар негізінде қиюластыруда тұр.

УДК 551.577.51(575.2)

**ОЦЕНКА РОЛИ ОРОГРАФИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ ВО ВНУТРЕННЕМ ТЯНЬ-ШАНЕ**

Канд. геогр. наук

К. Б. Бакиров

Канд. техн. наук

П. Ж. Кожаметов

Для оценки роли орографии составлено уравнение множественной регрессии с включением морфометрических показателей максимально влияющих на поле осадков. Из множества параметров были выбраны: расстояние станций до верховьев долины, долгота и широта станции и превышение экранирующего хребта. Эти факторы определяют в совокупности 74% дисперсии поля осадков во Внутреннем Тянь-Шане.

Высота местности принимается ведущим аргументом в горных гидрометеорологических расчетах и исследованиях. Приемы установления связей с высотой местности, безусловно, сыграли положительную роль в горной гидрометеорологии, помогли получить общее представление о величинах влагооборота. Однако детальные исследования атмосферных осадков показали, что распределение осадков в горах зависит от множества факторов [6, 10]. Поэтому необходим многомерный анализ, учет рельефа в широком понимании этого слова (степень доступности территории, влажным воздушным массам, ориентация склонов, абсолютная высота, горизонтальный масштаб возвышенностей и т.д.) [1].

Попытки учесть влияние рельефа предпринимались во многих работах [1-5, 9, 11]. В работе [3] предложена система расчетов элементов водного баланса, в том числе осадков, учитывающих комплекс факторов гидрометеорологической доступности территории. Роль хребтов-барьеров, их высота, форма и крутизна склонов в пространственном распределении осадков рассмотрена в работах [1, 5]. Количественная оценка влияния орографических параметров на поле атмосферных осадков осуществлена в работе [2], при этом использовался аппарат многофакторного статистического анализа. Судя по работе [11] для нескольких водосборов в Западной Канаде удалось получить линейные многофакторные уравнения, описывающие изменения месячных сумм осадков по территории в зависимости

от ряда орографических параметров: высоты пункта, уклона склона, высоты барьера, расстояния до него и некоторых других. Следует отметить, что в работе [2] для оценки рельефа в Средней Азии введены условные параметры - центры орографического влияния, прямой и обратный продольно-циркуляционные эффекты. Для оценки влияния рельефа на годовые суммы осадков Внутреннего Тянь-Шаня нами использовалась методика анализа морфометрических показателей [9], при этом была применена программа шагового регрессионного анализа [7], которая используется в последнее время и для других целей: [8, 9].

Были использованы средние многолетние годовые суммы (нормы) осадков 18 метеостанций Внутреннего Тянь-Шаня, так как они представляют наиболее устойчивую и важную характеристику осадков. Сведения о годовых суммах используются во многих теоретических исследованиях и применяются для многих практических задач. В большинстве случаев на основе их значений строят карты увлажнения рассматриваемых территорий.

При составлении уравнения множественной регрессии из совокупности многих возможных морфометрических показателей [9] были выбраны параметры, максимально влияющие на поле атмосферных осадков. При этом в модель включались поочередно те факторы, которые не дублировали другие и не находились в тесной зависимости с ранее включенными параметрами, т.е. в отношении включенных параметров была отвергнута гипотеза мультиколлинеарности.

В результате были выбраны в качестве зависимой переменной годовые суммы осадков (x), а в качестве аргументов - расстояние станций до верховьев долины ($l_{ст}$), превышение экранирующего хребта (ΔH), долгота (λ) и широта (φ) станции.

Из матрицы коэффициентов парной корреляции (табл. 1) видно, что сильно влияющего фактора на поле осадков не обнаружено.

Таблица 1

Матрица коэффициентов парной корреляции

	x	$l_{ст}$	λ	φ	ΔH
x	1	-0,62	0,50	-0,48	-0,48
$l_{ст}$		1	-0,27	0,24	0,32
λ			1	0,04	-0,07
φ				1	0,06
ΔH					1

Примечание. Все показатели нормированы.

Парные коэффициенты корреляции между зависимой переменной и остальными независимыми факторами различаются незначительно. Чтобы установить истинную зависимость между атмосферными осадками и морфометрическими показателями необходимо проанализировать, как известно, частные коэффициенты корреляции (табл. 2).

Из анализа табл. 2 следует, что наиболее существенная связь имеет место между расстоянием станции до верховьев долины и атмосферными осадками ($r = -0,62$), влияние же других факторов меньше ($|r| = 0,37... 0,44$).

Таблица 2

Матрица коэффициентов частной корреляции

	x	$l_{ст}$	λ	φ	ΔH
x	1	-0,62	0,44	-0,41	-0,37
$l_{ст}$		1	-0,21	0,19	0,28
λ			1	0,01	-0,02
φ				1	0,03
ΔH					1

Теперь рассмотрим как эти факторы влияют в совокупности. С помощью шагового регрессионного анализа были составлены уравнения множественной регрессии, причем на каждом шаге включались в модель поочередно все перечисленные параметры ($l_{ст}$, λ , φ , ΔH). На каждом шаге распечатывается полная информация по полученной модели, основные сведения которой представлены в табл. 3.

О качестве полученной на каждом шаге модели можно судить по значениям среднего квадратического отклонения оценки регрессии и сумме квадратов остатков. Они на каждом шаге уменьшаются: первая сумма от 0,81 на первом шаге до 0,58 на четвертом, вторая - от 10,5 на первом шаге до 4,4 на четвертом.

Таблица 3

Результаты шагового регрессионного анализа влияния рельефа на годовые суммы осадков

Обозначения: R - множественный коэффициент корреляции; D - коэффициент детерминации; С.К.О. - среднее квадратическое отклонение

Номер шага: 1	расстояние станции до гребня ($l_{ст}$)
Включенная переменная	0,68; 0,38

R и R ² = D	0,81
С.К.О. оценки регрессии	6,49
$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов регрессии	10,51

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков

$$x = -0,618 \cdot t_{cr} \pm 0,197$$

Номер шага: 2

Включенная переменная Долгота (λ)

R и R² = D 0,71; 0,50

С.К.О. оценки регрессии 0,75

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов регрессии 8,50

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков 8,50

$$x = 0,357 - 0,523 \cdot \lambda \cdot t_{cr} \pm 0,189$$

Номер шага: 3

Включенная переменная Широта (φ)

R и R² = D 0,80; 0,64

С.К.О. оценки регрессии 0,66

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов регрессии 10,95

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков 6,05

$$x = 0,4 \lambda - 0,393 \varphi - 0,416 t_{cr} \pm 0,171$$

Номер шага: 4

Включенная переменная Превышение экван. хребта (ΔH)

R и R² = D 0,86; 0,74

С.К.О. оценки регрессии 0,58

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов регрессии 12,58

$\sum(y_j - \hat{y}_j)^2$ сумма квадратов остатков 4,43

$$x = 0,027 + 0,406 \lambda - 0,401 \varphi - 0,327 t_{cr} - 0,307 \Delta H \pm 0,16$$

Коэффициент множественной корреляции возрастает от 0,63 на первом шаге до 0,86 на четвертом шаге.

Все перечисленные показатели определяют в совокупности 74 % дисперсии поля осадков. Таким образом, остаточная дисперсия, обусловленная другими неучтенными показателями и случайными ошибками, составляет 26 % общей дисперсии.

Итоговое уравнение множественной регрессии с включением следующих параметров: расстояние станции до верховьев долины ($l_{ст}$), долготы (λ), широты (φ) и превышения экранирующего станцию хребта (ΔH), выразится в следующем виде:

$$x = 0,027 + 0,406 l_{ст} - 0,401 \lambda - 0,327 \varphi - 0,307 \Delta H + 0,16$$

Для сравнения приведем результаты, полученные в других работах. В работе [9] установлено, что из характеристик осадков более явно связана с особенностями рельефа доля осадков того или иного сезона в годовой сумме, в частности доля зимних осадков. В ней предлагается следующая формула для осадков холодного полугодия:

$$D_{холод} = - 0,487 H + 0,362 B \cdot x/L + 0,353 C \cdot H/H$$

Как видно из формулы, распределение доли осадков холодного полугодия по территории примерно в равной степени зависит от высоты (H), удаленности станции вглубь горной системы (x/L) и различия высоты хребтов, простирающихся к северу и югу от станции (H/H). Значения доли осадков, рассчитанных по фактическим значениям и по предложенной формуле, оказались достаточно близкими; так, например, для М Ат-Баши эти значения составляют соответственно 0,21 и 0,25.

Для бассейна р. Нарын, большая часть которого входит во Внутренний Тянь-Шань в работе [2] получено, что использование двух показателей удаленности, характеризующих обратный продольно-циркуляционный эффект (L) и эффект экранированности (H), а также высоты позволяет описать существенную долю дисперсии (около 60 %) поля нормированных осадков за сезоны и год ($R_0 = 0,77 \dots 0,78$). Вклад этих параметров в описание поля осадков существенно меняется в течение года.

В холодный период года преобладает обратный продольно-циркуляционный эффект, заключающийся в уменьшении осадков по мере удаленности от хорошо увлажняемых низовий бассейна к его верховьям.

В теплый период влияние обратного продольно-циркуляционного эффекта становится менее заметным, доминирует высота и возрастает роль параметра L - удаленности от северного горного обрамления, на периферии которого активность северных и северо-западных процессов в теплый период наибольшая.

Таким образом, распределение осадков во Внутреннем Тянь-Шане зависит от комплекса орографических факторов. Для годовых сумм осад-

ков такими показателями являются расстояние станции до верховьев долины, координаты станции (долгота и широта), которые характеризуют расположение станции в горной системе, ее удаленность от хребтов-барьеров с запада на восток и с севера на юг, и превышение экранирующего хребта. Все перечисленные морфометрические показатели в совокупности определяют 74 % дисперсии поля осадков, а на фоне остальных неучтенных факторов приходится 26 % общей дисперсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов А.Н., Корытный Л.М. Географические аспекты гидрологических исследований. – Новосибирск.: Наука, 1981. – 177 с.
2. Богданова Л.Ф., Геткер М.И. Статистический анализ и учет влияния орографии при расчетах осадков на Тянь – Шане. // Тр. САНИГМИ. – Л.: Гидрометеиздат, 1975, вып. 225 (106). – С. 116 – 144.
3. Гарцман И.Н. Проблемы географической зональности и дискретность гидрометеорологических полей в горных условиях муссонного климата // Тр. ДВНИГМИ, 1971. Вып. 35. – С. 3 – 31.
4. Геткер М.И., Глазырин Г.Е., Емельянов Ю.Н. Влияние некоторых элементов орографии на распределение осадков в горных районах // Тр. САНИГМИ. 1972. – Л.: Гидрометеиздат. Вып. 62 (77). С. 30 – 38.
5. Максютов Ф.А. Классификация горных барьеров роли гор в формировании ландшафтов // Вопросы физической географии. Уфа, 1971. С. 19 – 36.
6. Пономаренко П.Н. Атмосферные осадки Киргизии. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 134 с.
7. Программное обеспечение ЕС ЭВМ. Пакет прикладных программ статистической обработки медицинской информации – Минск: БГУ, Институт Математики. 1983. – 163 с.
8. Скаков А.А., Дмитриева Е.Ф. Опыт применения множественной пошаговой регрессии для прогноза пыльных бурь в Казахстане // Долгосрочные прогнозы погоды. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 12.
9. Чанышева С.Г., Субботина О.И. О количественной оценке климатообразующего влияния рельефа // Метеорология и гидрология. 1983. № 3. – С. 32 – 40.
10. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 302 с.

11. Storr D., Ferguson H.L. The distribution of precipitation in some mountainous Canadian watersheds. – Distribution of precipitation in mountainous areas, 1972. vol. 11, № 326. WMO/ OMM Geneva, p. 290 – 306.
12. Willan A., Watts D. Meaningful multicollinearity measures. Technometrics. V. 20. 1978, p. 407 – 412.

ІШКІ ТЯНЬ-ШАНЬДА АТМОСФЕРАЛЫҚ ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ ТАРАЛУЫНА ЖЕР ҚЫРТЫСЫНЫҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Геогр.ғылымдарының канд. К.Б. Бәкіров,
Техн. ғылымдарының канд. П.Ж. Қожахметов

Жер қыртысының әсерін бағалау үшін жауын-шашындарға қатты әсер етуші морфометриялық көрсеткіштер енгізілген көпшілікті регрессия теңдеуі құрылды. Көптеген мөлшерлер ішінен: аңғар басына дейінгі станциялардың ара қашықтығы, станцияның бойлығы мен ендігі және таса жотаның биіктік асуы таңдалынып алынды. Осы факторлар жиынтығы Ішкі Тянь-Шаньдағы жауын-шашындар дисперсиясының 74 % айқындайды.

УДК 551.515.3:551.55:551.510.522

ОБ УСКОРЕНИИ ПОТОКА ВО ВРЕМЯ СИЛЬНЫХ ПЕСЧАНЫХ И ПЫЛЕВЫХ БУРЬ

Канд. физ. - мат. наук О.Е. Семенов

Приведены результаты градиентных измерений на 16-ти метровых мачтах во время сильной песчаной бури, в течение которой наблюдался эффект ускорения потока. Профили скорости ветра в условиях безразличной температурной стратификации оказались подобными инверсионным, и аппроксимируются логарифмиче-

ски линейной функцией $u(z) = \frac{u_}{\kappa} \left(\ln \frac{z}{z_0} + b \frac{z}{L_d} \right)$, где b – постоян-*

ная, а L_d – масштаб Баренблатта-Голицына. По результатам измерений скорости ветра и расхода песка выполнена оценка b и L_d . Значения b равно 0,5, масштаб L_d – изменялся в интервале 5...12 м. Сложно получить значения b из-за трудностей разделения диффузионного и сальтационного потоков массы песка. Описаны случаи формирования струйных течений в пограничном слое атмосферы во время пылевых бурь в различных географических районах Земли.

При проведении экспедиционного мониторинга за развитием песчано-солевых бурь на осушенной части дна Арала в 1984 году мы оказались свидетелями интересного природного явления – ускорения воздушного потока, несущего мелкие частицы песка. Выразалось оно в более быстром увеличении скорости потока с высотой по сравнению с логарифмическим законом, хотя приземный слой атмосферы имел в это время безразличную температурную стратификацию. Другими словами, нейтрально стратифицированный несущий твердую фазу поток имел вертикальный профиль скорости подобный тому, который наблюдается у чистого воздушного потока в условиях сильных инверсий температур. Ранее ускорение ветропесчаного потока было зарегистрировано экспедицией КазНИГМИ 19 мая 1970 года. Тогда было получено всего четыре таких профиля скорости ветра с десятиминутным осреднением во время сильной бури в песках Юго-Восточного Казахстана над спланированной (выров-

ненной) песчаной поверхностью, сложенной очень мелким песком со средним геометрическим размером частиц $x_0 = 90$ мкм [11].

Теоретическое объяснение эффекта ускорения двухфазного потока было дано Баренблаттом и Голицыным [1,2,15]. Они показали, что часть энергии турбулентности, получаемой пульсациями скорости от среднего движения, затрачивается потоком на процесс диффузии мелких частиц твердой фазы. Уменьшение турбулентного обмена приводит к более быстрому росту скорости потока с увеличением расстояния от подстилающей поверхности. Сильные инверсии температуры в чистых воздушных потоках, как известно, также снижают интенсивность турбулентности и приводят к аналогичному виду профилю скорости ветра.

Для описания профиля скорости ускоренного нейтрально стратифицированного несущего взвешенные частицы потока Баренблатт и Голицын получили логарифмически линейную функцию

$$u(z) = \frac{u_*}{\chi} \left(\ln \frac{z}{z_0} + b \frac{z}{L_d} \right), \quad (1)$$

где u_* - динамическая скорость, $\chi = 0,4$ - постоянная Кармана, z_0 - параметр шероховатости, b - постоянная, L_d - масштаб длины Баренблатта-Голицына. Внешний параметр подобия Баренблатта-Голицына L_d является функцией концентрации примеси в потоке

$$L_d = \frac{u_*^3}{\chi g w_g \sigma s_0}, \quad (2)$$

где g - ускорение свободного падения, w_g - скорость свободного падения частиц, s_0 - объемная концентрация частиц на уровне z_0 ("мутность" по терминологии Великанова), $\sigma = (\rho_p - \rho_g)/\rho_g$ - относительное превышение плотности частиц ρ_p над плотностью воздуха ρ_g . L_d и b могут быть найдены из градиентных измерений профилей скорости ветра и переносимой массы частиц. В своих работах Баренблатт и Голицын сделали оценку величины L_d для песчаной бури в Прибалхашье 19 мая 1970 года [1,15]. Поскольку во время этой бури выполнялись измерения только профилей скорости ветра и не было информации о переносе массы, то для определения L_d им пришлось априори задаться двумя значениями b равными 0,6 и 10. Для этих значений L_d оказался равным соответственно 3 и 50 м.

Описание песчаной бури

Песчаная буря 15-16 июня 1984 года оказалась значительно более полной по объему полученной информации и позволила сравнительно корректно оценить L_d и b . Буря началась 15 июня в 17 часов местного времени и окончилась 16 июня в 19 часов. Она возникла при прохождении холодного фронта, связанного с выходом южного циклона. Циклон образовался над акваторией Каспийского моря 14 июня и начал быстро смещаться в ССЗ направлении, 15-16 июня его центр уже находился в районе Актюбинска. Давление в центре циклона достигало 1000 гПа. В его тыловой части наблюдалась адвекция холода и с ней было связано формирование вторичных холодных фронтов. Отмечалось быстрое падение давления перед фронтальным разделом, достигавшее 3-4 гПа за 12 часов. За фронтальным разделом располагалась зона высокоградиентного поля. Средняя скорость ветра во время бури достигала 16...21 м/с с порывами до 25 м/с, дальность видимости уменьшалась до 50 м и менее. Такая низкая видимость сохранялась до конца дня 15 июня и в течение почти 17 часов 16 июня, изредка увеличиваясь на несколько минут до 100-150 м. Только после 16 часов началось ее постепенное улучшение и к 17 часам она возросла до 200...300 м. В 19 часов буря перешла в интенсивный песчаный поэмок при снижении средней скорости ветра до 10 м/с, видимость увеличилась до 1000 м.

15 июня во время начала бури облачность составляла 10 баллов. Нижняя граница ее была на значительной высоте, и, по-видимому, это явилось причиной отсутствия осадков при прохождении фронтального раздела. В утренние часы 16 июня облачность еще сохранялась, но к полудню ее уже не стало. Тем не менее, в продолжение всей бури небо было серым, лишь небольшая область в зените во второй половине дня выглядела серо-голубой. После появления солнца из-за облаков оно едва угадывалось на небосводе не оставляя на поверхности теней от предметов.

Температура во время бури в послеполуденные часы достигала 24 °С и упала на 4,5 °С по сравнению с предшествующими ей сутками. Существенным оказалось влияние взвешенного в воздухе аэрозоля и на суточную амплитуду температуры, которая сократилась до 7 °С, тогда как в ясные периоды она достигала 13-15 °С.

Большие изменения во время бури произошли в строении поверхности и особенно эоловых форм рельефа всех масштабов. Эоловая рябь утром 16 июня приобрела вначале нечеткие размытые формы, а затем и

вовсе исчезла. С барханов был снесен слой песка мощностью до 25...35 см. К концу бури полностью обнажились их влажные внутренние горизонты и из привычной серповидной формы они перешли в овальную, сглаженную, похожую на плосковыпуклые линзы. За пределами массива подвижных песков на закрепленном растительностью осушенном дне моря на расстоянии нескольких сот метров поверхность оказалась покрыта слоем песка мощностью в несколько сантиметров, за кустами растений сформировались косы навевания.

Открытие влажных горизонтов барханов при их передвижении ветром влияло на расход твердой фазы потока и эффект ускорения. К восьми часам утра 16 июня примерно 30% площади барханов оказалось занятой влажным песком, обнажившимся после перемещения барханов по направлению ветра. К 15 часам площади влажного песка значительно возросли и это сказалось на режиме бури, он стал нестационарным. Поверхностный слой влажного песка быстро подсыхал до влажности ниже критической и вновь вовлекался в ветровой перенос, но это приводило к уменьшению интенсивности переноса массы твердой фазы потока, улучшению видимости и перемежающемуся режиму процесса ускорения. Ускоренные профили скорости ветра чередовались с логарифмическими в моменты снижения расхода песка. К 17 часам большая часть поверхности оказалась сложенной влажным песком, что привело к уменьшению диффузионного потока частиц, улучшению дальности видимости и окончанию эффекта ускорения потока – профили ветра стали логарифмическими, несмотря на сохранившиеся еще большими средние скорости до 17 м/с и сальтационную составляющую потока массы песка.

Окончание бури было таким же внезапным, как и ее возникновение. В конце бури в 19 час 20 мин средняя скорость ветра быстро снизилась с 17,6 до 11,3 м/с на высоте 16 м, что привело к окончанию переноса песка. Температура воздуха упала в эти последние минуты на 1,4 °С, локальное число Ричардсона Ri , возросло вдвое с $-0,005$ до $-0,01$, масштаб Монины-Обухова L_0 уменьшился с 255 до 60 м. Перенос песка перешел в прерывистый поземок, а затем и вовсе прекратился.

Результаты измерений параметров бури

Измерения выполнялись на осушенном дне Арала на массиве подвижных песков площадью несколько сотен квадратных километров вблизи бывшего мыса Карашокат. Место для работы экспедиции было выбрано на

краю массива. Дисперсный состав песков описывался логарифмически нормальным распределением со средним геометрическим размером частиц $x_0 = 120$ мкм и средним квадратическим отклонением логарифмов размеров $\sigma_{lgx} = 0,11$. Накопленная функция распределения песка по размерам на вершине бархана дана в табл. 1.

Таблица 1

Функция распределения частиц песка по размерам на поверхности

Доля частиц в % меньше					
50 мкм	73 мкм	100 мкм	140 мкм	200 мкм	250 мкм
0,3	2,4	22,0	76,1	98,4	99,9

Рельеф представлял плоскую равнину, покрытую подвижными барханными цепями со средней высотой от 0,6 до 0,8 метра. Межбарханные понижения, сложенные песчаными грунтами, были покрыты тонкой солевой коркой, влажной в ночные и ранние утренние часы. Растительность отсутствовала.

Метеорологическая часть программы наблюдений обеспечивалась проведением градиентных измерений скоростей ветра на высотах 0,5; 1; 2; 4; 9; и 16 м; температуры воздуха на уровне 2 м и градиента температуры в слое 0,5 – 2 м; измерений твердого расхода песка на высотах 0,12; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 9 и 16 м. Скорость ветра измерялась анемометрами М-25, в которых контактный узел был заменен на фотоэлектрический датчик импульсов. Твердый расход песка определялся пескоуловителями КазНИГМИ [12], температура воздуха и ее вертикальный градиент – дистанционными терморезисторными преобразователями с радиационной защитой и принудительной аспирацией. Все приборы размещались на 16-ти метровой телескопической мачте, пульта для снятия показаний дистанционных приборов – в кузове передвижной метеостанции ПМС-70.

Метеорологическая мачта была установлена в межбарханном понижении на расстоянии около километра от края массива. Воздушный поток при СЗ и З направлениях ветра проходил над массивом подвижных песков больше 10 км, что позволяло ему достигать достаточно большого насыщения аэрозолями, участвующими в процессе диффузии. Перечисленный комплекс измерений позволяет получать не только профили скорости ветра и твердого расхода песка, но и основные параметры приземного слоя атмосферы: динамическую скорость u_* , параметр шероховатости z_0 , коэффициент турбулентности k_1 для высоты $z_1 = 1$ м, турбулентный

поток тепла H , локальное число Ричардсона Ri_l , для $z_l = 1$ м либо масштаб длины Монины – Обухова L_o . Измеренные вертикальные профили твердого расхода аппроксимируются степенной функцией

$$q(z) = q_l \left(\frac{z}{z_l} \right)^\alpha, \quad (3)$$

где q_l – расход песка на $z_l = 1$ м, α – показатель степени, который является функцией динамической скорости потока и скорости гравитационного падения частиц песка [10].

Полученные во время бури профили $q(z)$ дали возможность определить их параметры q_l и α и путем интегрирования по z до верхней границы приземного слоя атмосферы получить общий расход песка Q_z в этом слое

$$Q_z = \int_0^h q(z) dz, \quad (4)$$

Методика интегрирования описана в работе [10]. Высота приземного слоя атмосферы достигала во время бури 140...170 м и рассчитывалась по формуле

$$h = \frac{0,05k_l}{z_l 2\Omega \sin \varphi}, \quad (5)$$

где Ω – вертикальная составляющая угловой скорости вращения Земли ($2\Omega = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$), φ – широта местности, k_l – коэффициент турбулентности на уровне $z_l = 1$ м.

При обработке ускоренных профилей ветра пришлось столкнуться с некоторыми методическими трудностями. Параметр шероховатости и динамическая скорость определялась лишь по нижней 2-х метровой части профиля ветра, где он сохраняется логарифмическим. Это, естественно, сказалось на точности их значений. Пескоуловители на высотах 1 и 2 м давали завышенные значения уловленной массы песка. В эти приборы попадала струя песка с гребня бархана, близко подошедшего к мачте во время бури. Струя не успевала рассеиваться и улавливалась пескоуловителями. При вычислении параметров q_l и α профилей расхода эти систематические погрешности измерения массы песка повлияли на точность их определения.

Всего было измерено 56 профилей $u(z)$ с десятиминутным осреднением и лишь 8 профилей $q(z)$, т.к. время экспозиции пескоуловителей

Таблица 2

Вертикальные профили скоростей ветра во время бури 16.06.1984 года. Аральское море

Время		Скорость ветра (м/с) на высотах, z, м						z ₀	u ₁₀	k ₁	L ₀	T ₂	ΔT	
ч	мин	0,5	1,0	2,0	4,0	9,0	16,0							см
7	45	8,7	9,8	11,0	12,4	14,2	16,1	0,3	0,69					
7	55	9,1	10,2	11,4	13,0	14,8	16,4	0,3	0,72					
8	05	9,5	10,7	11,9	13,4	15,3	17,5	0,3	0,75					
8	15	10,0	11,3	12,5	14,2	16,1	18,6	0,2	0,72					
8	25	9,8	11,0	12,2	13,8	15,5	17,6	0,2	0,71				17,0	
8	35	9,9	11,1	12,3	14,5	16,6	18,9	0,2	0,72				17,2	
8	45	10,1	11,4	12,5	14,5	16,4	18,8	0,3	0,79				17,0	
8	55	10,1	11,5	12,6	14,6	16,6	18,8	0,3	0,79	0,28	890	17,6	0,2	
9	05	10,2	11,5	12,7	14,9	17,0	19,7	0,2	0,74	0,27	180	17,5	0,8	
9	15	10,0	11,3	12,8	14,7	16,6	18,8	0,4	0,80	0,31	260	17,3	0,6	
9	25	9,5	10,6	12,1	13,9	15,9	17,9	0,4	0,68	0,28	135	17,7	0,8	
9	37	9,5	10,6	12,0	13,7	15,5	17,6	0,3	0,69	0,26	190	17,7	0,6	
9	47	9,6	10,8	12,1	13,9	15,7	17,8	0,3	0,70	0,27	155	17,5	0,8	
9	57	9,1	10,2	11,2	12,8	14,5	15,7	0,2	0,59	0,22	130	17,5	0,7	
10	07	9,2	10,4	11,6	13,3	14,9	16,7	0,3	0,69	0,27	200	18,0	0,6	
10	20	10,0	11,3	12,8	14,4	16,2	18,2	0,3	0,78	0,32	205	17,9	0,7	
10	30	9,5	10,7	12,1	13,8	15,8	17,6	0,3	0,75	0,28	180	18,0	0,8	
10	40	9,6	10,7	12,1	13,7	15,6	17,6	0,3	0,74	0,27	180	18,5	0,8	
10	50	10,0	11,2	12,9	14,8	16,5	18,6	0,4	0,81	0,32	180	18,9	0,9	
11	00	10,0	11,2	12,9	14,8	16,5	18,6	0,4	0,81	0,31	210	18,4	0,8	
11	10	10,0	11,2	12,7	14,5	16,3	18,2	0,3	0,77	0,28	200	19,0	0,8	
11	20	10,0	11,2	12,5	14,5	16,3	18,2	0,2	0,72	0,27	170	19,1	0,8	

Продолжение таблицы

Время		Скорость ветра (м/с) на высотах, z, м						z_m	u_z	k_1	L_0	T_z	ΔT
ч	мин	0,5	1,0	2,0	4,0	9,0	16,0						
11	30	10,1	11,3	12,7	14,6	16,4	18,3	0,2	0,72	0,28	160	19,5	0,8
11	40	10,4	11,6	13,3	15,3	16,9	18,8	0,3	0,80	0,30	190	20,1	0,9
11	50	10,4	11,8	13,2	14,8	16,4	18,3	0,3	0,81	0,29	190	20,1	0,9
12	05	10,3	11,6	13,3	15,4	17,2	19,4	0,4	0,86	0,31	175	20,2	1,0
12	15	10,2	11,5	13,2	14,8	16,6	18,5	0,4	0,85	0,320	170	21,3	1,1
12	30	10,4	11,7	13,2	14,8	16,5	18,3	0,3	0,82	0,30	180	20,7	1,0
12	40	11,0	12,3	13,4	15,1	16,6	18,3	0,2	0,79	0,24	165	21,1	1,2
12	50	10,7	12,0	13,4	14,9	16,4	18,2	0,2	0,79	0,28	140	21,1	1,2
13	00	9,4	10,6	13,0	15,7	18,6	20,8	0,4	0,86	0,36	130	21,4	1,3
13	10	10,9	12,2	13,6	15,3	16,9	18,7	0,2	0,78	0,28	135	21,5	1,2
13	25	11,1	12,5	13,8	15,5	17,3	19,0	0,2	0,80	0,28	145	21,8	1,2
13	35	10,8	12,2	13,3	15,3	16,9	18,8	0,2	0,78	0,25	155	22,1	1,2
13	45	10,6	11,9	13,3	15,1	16,5	18,3	0,3	0,82	0,28	160	22,4	1,2
13	55	10,6	11,8	13,3	15,3	16,9	18,5	0,3	0,81	0,28	145	22,5	1,3
14	05	10,5	11,8	13,3	14,9	16,4	18,2	0,3	0,81	0,29	130	22,5	1,4
14	15	10,1	11,3	12,7	14,4	15,7	17,3	0,2	0,72	0,26	100	23,2	1,4
14	25	10,2	11,6	12,9	14,6	16,2	17,3	0,3	0,80	0,28	140	23,2	1,3
14	40	10,5	11,7	13,2	15,1	16,8	18,1	0,2	0,75	0,28	115	23,2	1,3
14	50	10,7	11,7	13,2	15,2	16,8	18,3	0,15	0,74	0,25	110	23,0	1,4
15	00	10,1	11,5	12,5	14,8	16,5	17,8	0,2	0,74	0,32	90	23,4	1,4
15	10	10,5	11,3	13,1	15,5	17,4	19,5	0,1	0,71	0,26	100	23,4	1,4
15	20	9,9	11,1	12,7	14,8	16,4	17,6	0,5	0,88	0,28	150	23,7	1,6
15	35	10,0	11,7	13,3	15,0	16,6	18,0	0,6	0,91	0,35	180	23,6	1,2

Окончание таблицы

Время		Скорость ветра (м/с) на высотах, z, м						z, см	u, м/с	k, м ² /с	L ₀ , м	T _г , °С	ΔT, °С
ч	мин	0,5	1,0	2,0	4,0	9,0	16,0						
15	45	10,0	11,7	13,2	15,1	16,6	17,7	0,7	0,95	0,35	185	23,8	1,3
15	55	9,6	10,8	12,4	14,5	16,2	17,6	0,5	0,85	0,29	150	24,3	1,4
16	05	9,6	11,2	12,4	14,3	15,9	16,5	0,5	0,85	0,29	150	23,9	1,4
16	20	9,9	11,3	12,6	14,6	16,0	16,7	0,4	0,83	0,28	140	23,8	1,4
16	30	10,2	11,9	13,4	15,2	16,8	17,3	0,4	0,88	0,35	145	24,1	1,3
16	40	10,1	11,9	13,4	15,1	16,7	17,2	0,4	0,88	0,35	145	24,1	1,3
17	15	9,6	11,3	12,9	14,5	15,9	16,2	0,5	0,89	0,35	165	24,1	1,2
18	00	9,0	10,1	12,0	13,6	14,9	16,0	0,4	0,79	0,32	135	23,9	1,1
18	10	9,0	10,4	12,0	13,4	14,7	15,6	0,4	0,79	0,31	155	23,4	1,0
18	40	9,3	10,6	12,4	14,5	15,9	17,6	0,9	0,94	0,32	255	23,4	1,0
19	20	7,0	8,0	9,0	9,7	10,7	11,3	0,20	0,53	0,26	60	22,0	0,9

Общий расход и вертикальные профили твердого расхода песка во время бури 16.06.1984 года. Аральское море

Таблица 3

Время		q ₂ (кг/м ² ·с ⁻¹) на высоте над поверхностью песка, м								Параметры		u, м/с	Q ₂ , кг/м ⁻¹ ·с ⁻¹
начало	конец	0,125	0,25	0,5	1	2	4	9	16	q ₁	α		
7:35	8:55	1,1·10 ⁻²	7,3·10 ⁻³	4,3·10 ⁻³	3,5·10 ⁻³	2,8·10 ⁻³	3,5·10 ⁻⁴	1,0·10 ⁻⁴	7,2·10 ⁻⁵	1,9·10 ⁻³	1,10	0,69	2,2·10 ⁻²
9:09	10:11	1,4·10 ⁻²	8,1·10 ⁻³	5,3·10 ⁻³	4,1·10 ⁻³	2,4·10 ⁻³	4,1·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁴	6,7·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻³	1,14	0,70	2,6·10 ⁻²
10:25	11:03	3,0·10 ⁻²	1,2·10 ⁻²	8,8·10 ⁻³	6,0·10 ⁻³	3,1·10 ⁻³	6,8·10 ⁻⁴	1,9·10 ⁻⁴	1,2·10 ⁻⁴	3,6·10 ⁻³	1,15	0,80	4,3·10 ⁻²
11:20	12:00	3,5·10 ⁻²	1,5·10 ⁻²	9,5·10 ⁻³	5,5·10 ⁻³	3,0·10 ⁻³	5,2·10 ⁻⁴	1,7·10 ⁻⁴	9,1·10 ⁻⁵	3,5·10 ⁻³	1,25	0,80	5,1·10 ⁻²
12:10	12:55	2,2·10 ⁻²	1,2·10 ⁻²	7,7·10 ⁻³	5,0·10 ⁻³	2,8·10 ⁻³	5,4·10 ⁻⁴	1,4·10 ⁻⁴	8,0·10 ⁻⁵	2,9·10 ⁻³	1,20	0,81	3,9·10 ⁻²
13:15	14:05	3,0·10 ⁻²	1,2·10 ⁻²	1,1·10 ⁻²	5,2·10 ⁻³	2,6·10 ⁻³	4,8·10 ⁻⁴	1,3·10 ⁻⁴	6,4·10 ⁻⁵	3,1·10 ⁻³	1,30	0,78	5,0·10 ⁻²
14:27	15:20		1,0·10 ⁻²	1,0·10 ⁻²	4,2·10 ⁻³	2,1·10 ⁻³	3,8·10 ⁻⁴	7,5·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻⁵	2,8·10 ⁻³	1,45	0,75	7,2·10 ⁻²
15:30	16:23		8,5·10 ⁻³	1,0·10 ⁻²	2,9·10 ⁻³	1,3·10 ⁻³	3,0·10 ⁻⁴	6,8·10 ⁻⁵	4,2·10 ⁻⁵	2,3·10 ⁻³	1,44	0,86	5,6·10 ⁻²

было существенно большим. Смена приемных кассет с уловленной массой песка при сильном ветре и большой концентрации частиц в воздухе была затруднена и требовала осторожности. Поэтому не удавалось выдерживать строго определенные интервалы времени между сменой кассет пескоуловителей.

Результаты градиентных измерений скорости ветра, температуры и твердого расхода песка представлены в табл.2 и 3. В таблице 2 приведены полученные по результатам измерений скорости ветра и температуры величины z_0 , u_* , k_1 и L_0 , а в таблице 3 – величины q_1 , α и Q_2 каждого профиля $q(z)$ и значения u_* , определенные для времени экспозиции пескоуловителей.

Расчет объемной концентрации переносимого ветром песка

Для анализа возможности применения формулы (1) при описании ускоренных профилей скоростей потока нужно определить значения масштаба длины Баренблатта-Голицына L_d и постоянной b . Для вычисления L_d по формуле (2) надо знать объемную безразмерную концентрацию s_0 на уровне z_0 и скорости свободного падения частиц w_g . И здесь приходится сталкиваться с трудностью их однозначного определения.

Из анализа размерности формулы (2), объемная концентрация твердой фазы потока s является безразмерной величиной, т.е. определяет относительный объем взвешенных частиц к объему вмещающего их газа. Великанов в гидрологии использовал для этой величины речных наносов так же термин "мутность" и определял ее как отношение объема твердого расхода к объему жидкого. Он считал, что объемная концентрация речных наносов редко превосходит $1 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-3}$ [4]. Для газовых потоков оценок s до сих пор не делалось.

Измеренный нами во время бури расход твердой фазы потока q_p можно представить через массовую концентрацию c и среднюю скорость полета частиц песка \bar{u}_p

$$q_p = c \cdot \bar{u}_p.$$

Массовая концентрация c может быть выражена через объемную концентрацию s и плотность частиц песка ρ_p

$$c = \rho_p \cdot s.$$

Тогда твердый расход песка q_p может быть записан в виде

$$q_p = \rho_p \cdot s \cdot \bar{u}_p, \quad (6)$$

а расход воздуха, несущего эти частицы,

$$q_g = \rho_g \cdot (1-s) \cdot \bar{u}_g, \quad (7)$$

где ρ_g — плотность воздуха, \bar{u}_g — средняя скорость ветра на высоте определения расхода воздуха q_g .

Разделив (6) на (7) получим

$$\frac{q_p}{q_g} = \frac{\rho_p \cdot s \cdot \bar{u}_p}{\rho_g (1-s) \bar{u}_g} \approx \frac{\rho_p}{\rho_g} \cdot s \approx \sigma s, \quad (8)$$

так как $s \ll 1$, то $1-s \approx 1$, $\frac{\rho_p}{\rho_g} \approx \frac{\rho_a - \rho_k}{\rho_g}$, и средняя скорость полета мел-

ких частиц песка \bar{u}_p может быть принята равной средней скорости воздушного потока \bar{u}_g [3]. Таким образом, по нашим измерениям твердого расхода можно получить относительную объемную концентрацию s , поскольку σ можно принять в качестве постоянной величины. Учет зависимости ρ_g от T весьма незначительно влияет на значение σ при небольших изменениях температуры во время бури.

Для получения расхода воздуха q_g были осреднены вертикальные профили скорости ветра $u(z)$ (табл. 2) примерно за те же интервалы времени, что и измеренные профили твердого расхода песка $q_p(z)$, которые представлены в табл. 4. В ней же даны значения u_0 и z_0 для этих осредненных за большие интервалы времени профилей ветра.

Затем, используя эти новые средние значения скорости ветра, были рассчитаны величины расхода воздуха $q_g = \rho_g \bar{u}$ и найдены отношения твердого расхода песка к расходу воздуха для всех высот измерений. При вычислении q_g значения скорости ветра для высот 0,125 и 0,25 м определены путем экстраполяции $u(z)$ до этих уровней. Таким образом, были получены профили безразмерного расхода песка q_p/q_g или σs . Профили безразмерного расхода песка и объемной концентрации s аппроксимируются степенной зависимостью, аналогичной формуле (3), с новыми параметрами σs_1 и β или s_1 и β .

Таблица 4

Осредненные профили скоростей ветра для периодов измерения расхода песка и их параметры

Время		Скорость ветра (м/с) на высотах z, м						z ₀ ,	u _* ,
начало	конец	0,5	1,0	2,0	4,0	9,0	16,0	см	м/с
7:45	8:55	9,6	10,9	12,0	13,8	15,7	17,8	0,2	0,69
8:55	10:07	9,6	10,8	12,1	13,9	15,7	17,7	0,2	0,70
10:07	11:00	9,8	11,0	12,5	14,3	16,1	18,1	0,4	0,80
11:00	12:05	10,2	11,5	13,0	14,9	16,6	18,6	0,3	0,80
12:05	13:00	10,3	11,6	13,2	15,1	16,9	18,8	0,3	0,81
13:00	14:05	10,8	12,1	13,4	15,2	16,8	18,6	0,2	0,78
14:05	15:20	10,3	11,4	12,9	14,9	16,5	18,0	0,2	0,75
15:20	16:20	9,8	11,3	12,8	14,7	16,3	17,3	0,5	0,86

$$s(z) = s_0 \left(\frac{z}{z_0} \right)^{-\beta} \quad (9)$$

Это позволило найти по (9) значения s_0 на уровне z_0 для каждого профиля по известным s_1 и β . В табл. 5 приведены результаты этих вычислений.

Для песчаных бурь определение s_0 и $s(z)$ сделано впервые. Поэтому сравним полученные результаты с аналогичными характеристиками водных потоков. По Великанову в речных наносах s_0 имеет порядок $1 \cdot 10^{-3} \dots 2 \cdot 10^{-3}$, по Михайловой - $4 \cdot 10^{-3}$, у Кнороза - $8 \cdot 10^{-2}$ [4]. В ветропесчаном потоке при интенсивном переносе s_0 достигает $8 \cdot 10^{-4}$ и при больших скоростях, возможно, может достигнуть 10^{-3} , т.е. значений, близких к наблюдаемым в водных потоках. С высотой переноса s быстро падает и на уровне 1 м достигает всего лишь 10^{-7} , на 16 м теряет еще два порядка величины и не превышает $10^{-8} \dots 10^{-7}$. Как видим, частицы песка занимают ничтожно малый объем воздушного потока. Такого быстрого изменения объемной концентрации твердых частиц по глубине переноса в водных потоках не наблюдается.

Песчаные бури являются более сложным физическим явлением, чем математически идеализированная модель бури, в которой рассматривается только процесс турбулентной диффузии мелких монодисперсных частиц. В силу полидисперсности реального песка частицы различного размера участвуют в ветровом перемещении разными способами [3,14].

Таблица 5

Вертикальные профили объемной концентрации песка (s). Аральское море, 1984 год

Время измерения		Безразмерная объемная концентрация песка (s) на высоте над поверхностью, м								Параметры профилей		u , м/с	S_c	z_0
начало	конец	0,125	0,25	0,5	1	2	4	9	16	S_1	β			
16 июня														
7:35	8:55	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$	$9,7 \cdot 10^{-9}$	$2,4 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	$6 \cdot 10^{-8}$	1,29	0,69	$1,8 \cdot 10^{-4}$	0,2
9:09	10:11	$7,4 \cdot 10^{-7}$	$3,7 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$6,9 \cdot 10^{-8}$	1,33	0,70	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,2
10:25	11:03	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-7}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$2,1 \cdot 10^{-7}$	$9,3 \cdot 10^{-8}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	1,35	0,80	$2 \cdot 10^{-4}$	0,4
11:20	12:00	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$8,8 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-9}$	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	1,44	0,80	$4,8 \cdot 10^{-4}$	0,3
12:10	12:55	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	1,39	0,81	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,3
13:15	14:05	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$7,4 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-7}$	1,45	0,80	$6 \cdot 10^{-4}$	0,25
14:27	15:20		$4,3 \cdot 10^{-7}$	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$6,5 \cdot 10^{-8}$	$9,7 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$9,7 \cdot 10^{-10}$	$8,3 \cdot 10^{-8}$	1,53	0,75	$7,9 \cdot 10^{-4}$	0,25
15:30	16:23		$3,9 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$7,9 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$9,3 \cdot 10^{-10}$	$7,4 \cdot 10^{-8}$	1,56	0,86	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,54

В нижнем приповерхностном слое воздуха превалирует перемещение более крупных частиц размером 100-140 мкм в виде прыжков (сальтации). Эти частицы слишком крупны, чтобы участвовать в процессе диффузии. В то же время они малы, чтобы при их обтекании генерировалась турбулентная энергия для диффузии более мелких частиц. Но на разгон сальтирующих частиц в горизонтальном направлении затрачивается часть энергии среднего движения потока. Поэтому нижний приповерхностный слой потока несколько теряет свою скорость. Таким образом транспорт массы сальтирующих частиц приводит к увеличению сопротивления движению потока — z_0 растет с увеличением динамической скорости u [3, 11]. У рассматриваемой нами бури z_0 изменялся от 0,1 до 0,9 см (Рис.1).

При взаимодействии потока воздуха с шероховатой подстилающей поверхностью происходит генерация турбулентной энергии, которая вызывает диффузионный поток субстанций из приповерхностного слоя вверх. Часть этой турбулентной энергии затрачивается на работу взвешивания наиболее мелких частиц, небольшая масса которых позволяет участвовать им в процессе диффузии. Именно движение в потоке этих мелких частиц приводит к уменьшению турбулентности потока и к его ускорению.

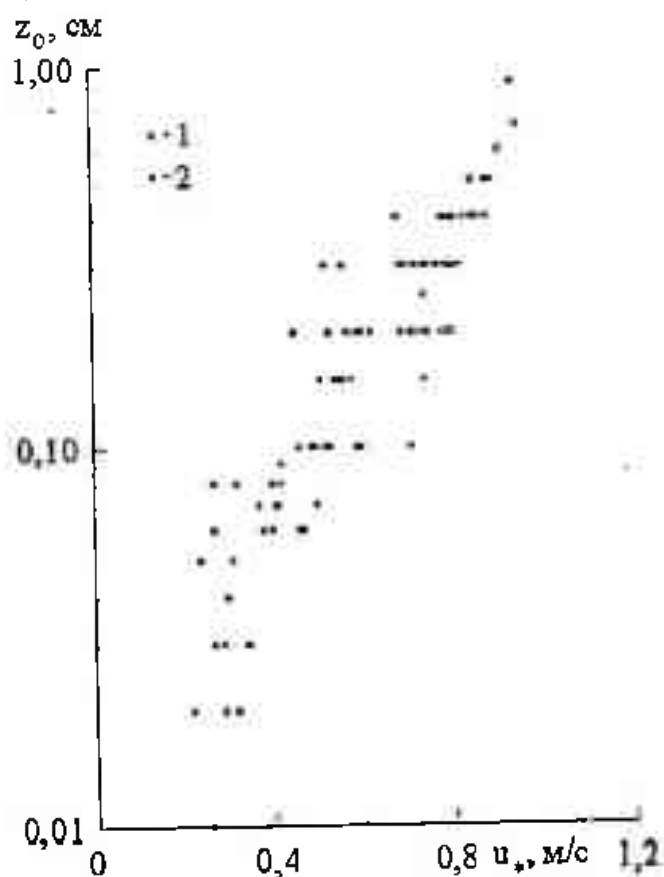


Рис. 1 Зависимость изменения z_0 от u_* при бурях, полученная в 1984 году.

1 — буря 16 июня; 2 — остальные случаи бурь.

Значение s_0 в табл.5 получены для суммарного потока песка — сальтационного и диффузионного. Очевидно, что объемная концентрация частиц на уровне z_0 , участвующих в процессе турбулентной диффузии s_{0d} составляет лишь некоторую долю от объема s_0 всех движущихся частиц, т.е

$$s_{0d} = k \cdot s_0$$

где $k \ll 1$. Ясно так же, что доля диффузионных частиц является функцией их содержания в поверхностном деятельном слое песка.

В статье [14] детально рассмотрено изменение с высотой переноса дифференциальной функции распределения частиц по размерам во время рассматриваемой здесь бури и показано, что в процессе диффузии в приземном слое атмосферы участвуют преимущественно частицы размером ≤ 100 мкм. Содержание песчинок этого размера в поверхностном слое достигает 22 % (табл. 1). Таким образом, $s_{0d} < 0,22 s_0$, т.к. не все эти мелкие частицы участвуют только в турбулентной диффузии. Значительная их часть перемещается и путем сальтации. В процессе ветрового переноса песка соотношение между сальтирующей и диффузионной массами постоянно изменяется. При возрастании доли сальтации увеличивается s_0 и показатели степени профиля твердого расхода песка α и объемной концентрации β . И наоборот, при уменьшении α и β возрастает доля диффузии в потоке и падает роль сальтации в переносе массы песка ветром. Эту динамичность можно оценить путем сравнения расхода массы частиц, переносимых в приземном слое атмосферы выше одного метра (условимся называть его диффузионным расходом) с расходом песка в слое 0 — 1 м. Диффузионный расход можно рассчитать интегрируя профиль твердого расхода в слое от 1 м до верхней границы приземного слоя

$$Q_{nd} = \int_1^h q(z) dz,$$

а расход в слое 0 — 1 м равен разности между общим расходом песка в приземном слое атмосферы и диффузионным расходом

$$Q_z - Q_{nd} = \int_0^h q(z) dz - \int_1^h q(z) dz.$$

Такие вычисления были сделаны и на рис.2 показана зависимость $Q_{nd}/(Q_z - Q_{nd})$ от показателя степени α профилей твердого расхода $q(z)$. На рис.2 хорошо видна большая изменчивость в вертикальном перерас-

пределении переносимой ветром массы песка в течение бури. На этом же рисунке фактически представлено и изменение отношения этих расходов во времени, так как величина α в продолжение бури почти монотонно возрастала (табл.3).

В начальной стадии бури масса диффузионных частиц достигала 0,40 – 0,50 массы частиц, переносимых в нижнем метровом слое. К концу бури несмотря на сохранившиеся большие скорости ветра и общий расход песка Q_2 , доля диффузионного потока массы снизилась до 0,1 от расхода песка в нижнем слое. Очевидно, ограничением процесса диффузии явилась не уменьшение генерации турбулентной энергии, а снижение способности деятельной поверхности поставлять в поток мелкие частицы вследствие увеличения площади открывшихся влажных горизонтов песка. Это привело к обеднению потока частиц наиболее мелкими фракциями.

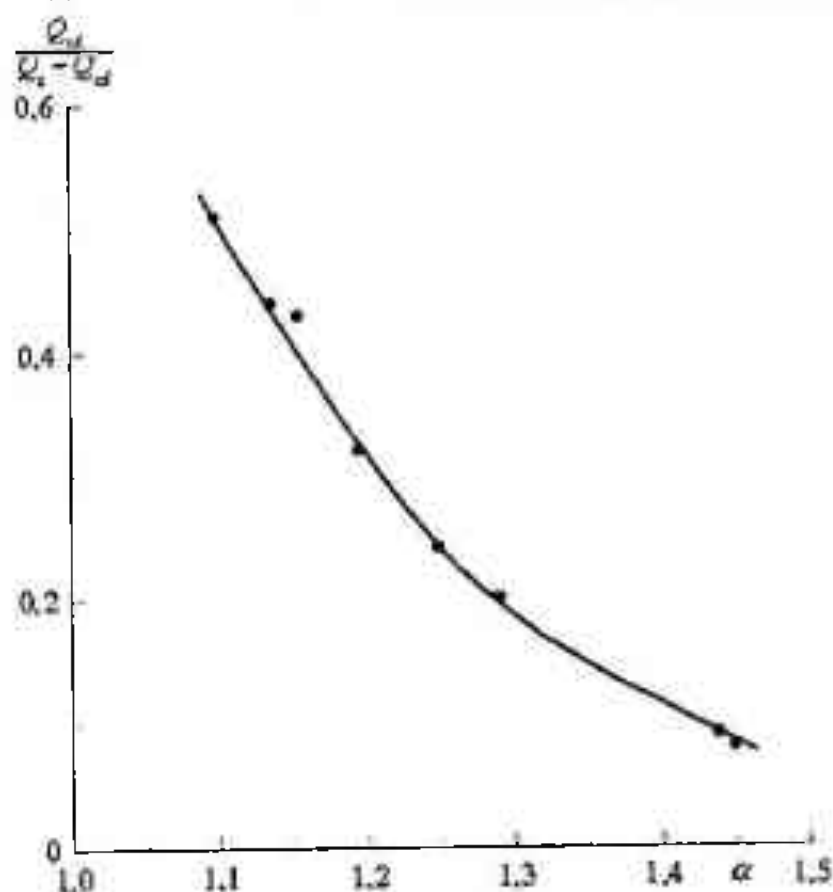


Рис.2 Зависимость отношения диффузного потока массы песка к сальтационному от показателя профиля твердого расхода песка

Таким образом, оценить объемную концентрацию участвующих в процессе диффузии частиц на уровне z_0 можно, исходя из рассмотренных соображений, по формуле

$$s_{od} = \frac{M_d}{M} \cdot \frac{Q_{zd}}{Q_z - Q_{zd}} \cdot s_0, \quad (10)$$

где M_d – масса частиц в поверхностном слое песка размером менее 100 мкм, M – масса всех частиц. Первый множитель формулы (10) характеризует потенциальную способность источника генерировать частицы диффузионного размера, второй – реальную способность потока выносить мелкие частицы выше слоя сальтации. У нас нет информации об изменчивости отношения M_d/M в течение бури, хотя она имеет место в реальном потоке. Для рассматриваемой бури примем $M_d/M = 0,22$ и (10) перепишем в виде

$$s_{od} = 0,22 \cdot \frac{Q_{zd}}{Q_z - Q_{zd}} \cdot s_0. \quad (11)$$

Формула (11) позволяет получить оценку величины s_{od} по данным об s_0 из таблицы 5.

Здесь следует отметить низкую точность определения как s_0 , так и s_{od} по эмпирическим данным. Большие погрешности в их вычислении связаны с процедурой экстраполяции измерений на уровень z_0 и возможными ошибками в нахождении доли частиц, участвующих в процессе диффузии. Учитывая это, можно говорить, что определенные далее значения L_d и b имеют скорее приближенные оценки масштабов этих величин и более строгое их определение – дело будущего.

Гидродинамическая крупность частиц, участвующих в диффузионном переносе

Второй параметр, необходимый для вычисления L_d , это скорость свободного падения песчинок w_p (гидродинамическая крупность частиц). Для полидисперсных систем частиц ее можно принять равной значению для их модального размера или определить как среднюю взвешенную величину по всему ансамблю песчинок

$$\bar{w}_g = \int_{z_{min}}^{z_{max}} f(x) w_p(x) dx.$$

Следует заметить, что для систем аэрозолей с большой дисперсией распределения \bar{w}_g теряет физический смысл.

Рассмотрим более подробно дифференциальную кривую функции распределения частиц песка по размерам $f(x)$ на высоте переноса 16 м (кривая 2 на рис.3). Она также как и кривая 1 аппроксимируется логнор-

мальным распределением. Средний геометрический размер частиц на $z = 16$ м равен $x_0 = 60$ мкм, а среднее квадратическое отклонение логарифмов размеров $\sigma_{lgx} = 0,06$. Как известно, модальный размер частиц логнормального распределения равен $x_m = x_0 \exp(-5,3\sigma_{lgx}^2) = 59$ мкм. Найдем так же физически более употребляемые параметры распределения – средний размер частиц $\bar{x} = x_0 \exp(2,65\sigma_{lgx}^2) = 60,6$ мкм и среднее квадратическое отклонение размеров частиц $\sigma_x = \bar{x} \sqrt{\exp 5,3\sigma_{lgx}^2} - 1 = 8,4$ мкм.

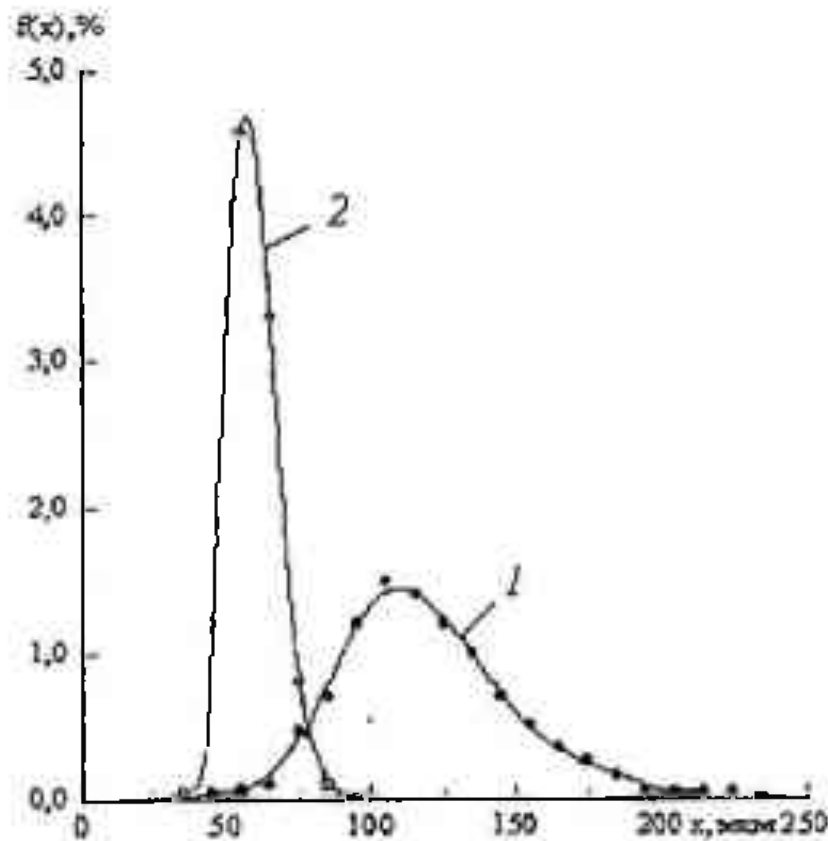


Рис.3 Дифференциальные кривые функции распределения частиц по размерам $f(x)$: 1- на поверхности, 2 – на высоте 16 м.

Практически совпадающие значения трех параметров $x_0 \approx x_m \approx \bar{x}$ дает возможность рассматривать это распределение и как нормальное, что облегчает получение средневзвешенного значения \bar{w}_g . Для вычисления \bar{w}_g весь ряд размеров частиц был разбит на шесть интервалов шириной $\Delta x_i = \sigma_x$. Это позволило использовать для выделенных интервалов стандартные значения вероятностей $p_i(\sigma_x)$ для точек, кратных отклонениям σ_x от \bar{x} : $p_1(\sigma_x) = 0,34$; $p_2(2\sigma_x) = 0,135$; $p_3(3\sigma_x) = 0,025$. Затем для середин интервалов Δx_i были рассчитаны $w_g(x_i)$, их произведения $p_i(\sigma_x) \cdot w_g$, суммы

произведений $\sum_{i=1}^n p_i(\sigma_i) w_{gi}$ и определена средневзвешенная величина $\bar{w}_g = 0,29$ м/с.

Для $x_m = 59$ мкм гидродинамическая крупность частиц по формуле Стокса равна $w_g = 0,28$ м/с при их плотности $\rho_p = 2,65$ кг/м³. Таким образом, оба метода дали очень близкие значения гидродинамической крупности частиц. Это позволяет рекомендовать наиболее простой способ определения w_g полидисперсных систем аэрозолей с малой дисперсией по w_g модального размера частиц. Для определения L_d примем $w_g = 0,3$ м/с.

Аналитическое описание измеренных ускоренных профилей скоростей ветра

Для аналитического описания измеренных ускоренных профилей ветра необходимо определить постоянную b из уравнения (1). Она может быть найдена из совместного рассмотрения уравнений логарифмически линейного и логарифмического законов изменения скорости потока с высотой:

$$u(z) = \frac{u_*}{\chi} \left(\ln \frac{z}{z_0} + b \frac{z}{L_d} \right), \quad (12)$$

$$u(z) = \frac{u_*}{\chi} \ln \frac{z}{z_0}. \quad (13)$$

Вычитая из (12) уравнение (13) получим превышение скорости ветра над логарифмическим профилем $\Delta u(z) = b \cdot \frac{u_*}{\chi} \cdot \frac{z}{L_d}$, откуда

$$b = \frac{\chi \cdot L_d \cdot \Delta u(z)}{u_* z}. \quad (14)$$

Все входящие в формулы (2) и (14) величины для вычисления L_d и b определены.

В таблице 6 представлены результаты расчетов L_d , b и всех параметров, которые были необходимы для этого. Значения $\Delta u(z)$ получены для $z = 16$ м. Приведенные в табл. 6 значения L_d и b позволяют очень точно описать формулой (12) ускоренные вертикальные профили $u(z)$ из табл.4, но при этом b изменяется в интервале от 0,3 до 0,6. Однако по теории b является константой. Очевидно, что изменчивость b в табл.6 является следствием наших случайных погрешностей ее определения. Среднее

значение $\bar{b} = 0,46 \pm 0,1$. Учитывая низкую точность вычисления S_{0d} , примем $b = 0,5$. При этом значении b рассматриваемые профили скорости потока уже не так точно описываются (12) с прежними значениями L_d из табл.6. Для оптимального их описания потребовалось методом итерации найти новые значения L_d при $b = 0,5$. Изменения L_d оказались незначительными и значения масштабов стали равными соответственно: 6; 7; 10; 10; 10,1; 11,4; 10 и 49,1 м.

Таблица 6

Результаты вычислений s_{0d} , L_d и b для измеренных профилей $u(z)$ и $q(z)$

u_z м/с	z_0 см	s_0	Q_{z_0} кг·м ⁻¹ ·с ⁻¹	$\frac{Q_{z_0}}{Q_z - Q_{z_0}}$	S_{0d}	L_d м	b
0,69	0,2	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	0,51	$2 \cdot 10^{-5}$	6,3	0,5
0,70	0,2	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	0,44	$2,6 \cdot 10^{-5}$	5,2	0,4
0,80	0,4	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,43	$1,9 \cdot 10^{-5}$	10,6	0,5
0,80	0,3	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,24	$2,5 \cdot 10^{-5}$	7,9	0,4
0,81	0,3	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$9,4 \cdot 10^{-3}$	0,32	$2 \cdot 10^{-5}$	10,5	0,5
0,78	0,2	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	0,20	$3,6 \cdot 10^{-5}$	7,2	0,3
0,75	0,25	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	0,08	$1,4 \cdot 10^{-5}$	11,6	0,6
0,86	0,54	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	0,09	$5 \cdot 10^{-6}$	49,1	-

На рис.4а приведены результаты измеренных (1, 3 и 5 профили из табл.4) и рассчитанных по формуле (12) профилей скорости ветра. Видно достаточно неплохое совпадение аналитического описания $u(z)$ с эмпирическими данными, осредненными за интервалы времени порядка часа. Интересно было проверить точность описания ускоренных профилей скорости потока логарифмически линейной функцией с меньшим десятиминутным временем осреднения измерений. На рис.4б показаны результаты проверки. Для этого были произвольно взяты три профиля скорости потока, измеренные в первой половине дня 16 июня в условиях сравнительно стационарного развития бури. Во второй половине этого дня, как уже говорилось ранее, процесс переноса был сильно изменчив. Профиль 3 измерен в 9 ч 05 мин, 4 – 10 ч 20 мин, 5 – 10 ч 40 мин. Профили 4 и 5 описаны формулой (12) с L_d равными 7 и 10 м соответственно, т.е. масштаб для них без изменений взят от осредненных за большие интервалы времени, из которых они выбраны. Для 6 профиля L_d пришлось уменьшить с 6 до 5 м для более качественного согласования с измеренными величинами. Таким образом, можно считать, что логарифмически линейная функция с $b \approx 0,5$

УДК 551.553.12+551.555.3

СИЛЬНЫЕ ВЕТРЫ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСТАНА

А. О. Подрезов

На основании статистической обработки и анализа многолетних данных наблюдений 96 метеостанций Кыргызстана и сопредельных Республик, а также ветровых съемок в гребневых зонах хребтов, рассматриваются закономерности территориального распределения характеристик (частота, длительность, направления, скорости и др.) режима сильных ветров, необходимые для решения различных прикладных задач.

В метеорологии под сильными ветрами, которые коротко называют бурями, обычно понимают усиления скорости ветра до значений 15 м/с, измеренные на высоте 10 м над поверхностью земли и имеющие период осреднения 10 минут [1, 5-7]. Сильные ветры являются важной климатической характеристикой территории [4, 10, 12]. Они влияют на многие виды хозяйственной деятельности. Во время бурь затруднены или прекращаются строительные работы, движение автотранспорта, невозможен взлет и посадка самолетов, возникают особо интенсивные метели, пыльные бури, волнения на озерах и водохранилищах, инженерные сооружения (телемачты, линии электропередачи, здания и др.) испытывают большие ветровые нагрузки и могут быть разрушены.

В целом интенсивность буревой деятельности на территории Кыргызстана мала, что в значительной мере объясняется тормозящим влиянием гор на режим ветра у земли. Число дней в году с сильным ветром в большинстве районов не превышает 10 – 15, тогда как в сопредельных степях Казахстана оно достигает 40 – 60 и даже более при удалении от гор всего на сотни километров [3, 6, 7].

Мощные горные системы Средней Азии – Тянь-Шань и Памиро-Алай оказывают существенное влияние на циркуляцию атмосферы, приводя к ветвлению высотной планетарной фронтальной зоны, а также к торможению воздушных течений над горами [7]. Еще в работе [3] на основании анализа приземных и шаропилотных данных было показано, что слабые (1... 3 м/с) средние скорости ветра на территории Тянь-Шаня объясняются не малыми

барическими градиентами, а тормозящим влиянием горной страны на потоки в атмосфере над горами.

Проведенный нами анализ современных аэрологических данных показал, что тормозящее влияние Тянь-Шаня сказывается одинаково сильно над всей областью гор, включая их наветренную западную периферию, касательные к воздушным потокам северные области и обширное внутреннее нагорье (Внутренний Тянь-Шань) [2]. В табл.1 приведены рассчитанные средние высоты изотах по данным радиозондирования по 4 группам станций, первая из которых находится далеко за пределами гор и не испытывает их влияния, вторая и третья расположены в предгорьях, а четвертая – внутри горной страны. Причем в нее включены также памирские станции Хорог и Тахтамышбек.

Таблица 1

Средние значения высот изотах 3, 5, 7 и 10 м/с над уровнем моря (км) зимой и летом по группам аэрологических станций

Станция	z, км	Удаление от гор, км	Скорость у земли, м/с	Изотаха, м/с			
				3	5	7	10
Зима (январь)							
1. Равнинные (удаление от гор более 100 км)							
Кзыл-Орда	0,13	800	3,5	-	0,21	0,31	2,32
Тамды	0,23	500	3,8	-	0,34	0,51	3,23
2. Предгорные (на западной наветренной стороне гор)							
Ташкент	0,48	65	1,8	0,69	2,38	2,98	>3,5
Джамбул	0,62	40	2,7	0,67	1,05	1,58	3,05
3. Предгорные (на северной касательной стороне гор)							
Фрунзе	0,76	40	1,9	1,00	2,27	3,06	3,76
Алма-Ата	0,85	30	1,0	1,70	2,38	3,01	3,82
4. Горные (в центре горной страны)							
Нарын	2,04	-	1,2	2,71	3,22	3,64	4,26
Хорог	2,09	-	1,8	2,35	3,97	4,50	5,15
Тахтамышбек	3,73	-	1,9	3,90	4,29	4,63	4,98
Лето (июль)							
1. Равнинные (удаление от гор более 100 км)							
Кзыл-Орда	0,13	800	2,8	0,14	0,25	0,35	>3,2
Тамды	0,23	500	2,1	0,28	0,40	0,52	>3,3

Станция	z, км	Удаление от гор, км	Скорость у земли, м/с	Изогала, м/с			
				3	5	7	10
2. Предгорные (на западной наветренной стороне гор)							
Ташкент	0,48	65	1,9	0,64	3,48	>4,0	
Джамбул	0,62	40	2,7	0,67	1,37	>3,7	
3. Предгорные (на северной касательной стороне гор)							
Фрунзе	0,76	40	2,2	0,89	3,00	3,69	>4,0
Алма-Ата	0,85	30	1,5	1,45	3,16	>3,85	
4. Горные (в центре горной страны)							
Нарын	2,04	-	3,1	-	3,39	4,08	>5,1
Хорог	2,09	-	2,0	2,34	4,59	>5,5	
Тахтамышбек	3,73	-	2,6	3,80	4,68	5,21	6,15

Видно, что зимой, вследствие инверсий температуры и ослабления вертикального турбулентного обмена, потоки в атмосфере свободно скользят над горными инверсиями, не взаимодействуя с приземными слоями, где в результате этого господствуют слабые ветры и затишья. Над горами при переходе через приземные слои скорости быстро растут с высотой, но это происходит уже выше среднего уровня гор, т.е. с высот 3,5–4 км [1]. Летом вертикальный турбулентный обмен усиливается. Переходный слой между малыми скоростями у поверхности гор и над ними увеличивается с одновременным небольшим усилением скоростей внизу. Однако в целом картина остается такой же, как и зимой.

Рассмотрим распределение основных режимных характеристик бурь на территории Кыргызстана – частоты, повторяемости направлений ветра, температуры воздуха в периоды их развития (температуры бурь) и максимальные скорости ветра. Будем использовать общепринятое климатическое деление Кыргызстана на 4 области: 1. северный, северо-западный Кыргызстан (Чуйская, Таласская и Чон-Кеминская долины с их горными обрамлениями); 2. юго-западный Кыргызстан (Ферганская и Алайская долины с горными обрамлениями); 3. Иссык-Кульская котловина с ее горным обрамлением; 4. Внутренний Тянь-Шань (внутреннее нагорье южнее хребтов Таласского, Киргизского, Терской Ала-Тоо и западнее Ферганского [1, 5].

Для краткости введем следующие обозначения: \bar{n} , n_m – средняя годовая и максимальная в году (с вероятностью 90%) частота бурь, $C(n)$ – коэффициент межгодовой вариации частоты, $\bar{\tau}$ и τ_m – средняя и максимальная длительность бурь, \bar{T} – средняя температура в периоды развития бурь (буревая температура), ΔT_p – диапазоны буревых температур с вероятностью $p = 0,90$ и $p = 0,98$.

В днищах долин северного, северо-западного Кыргызстана фоновая частота бурь мала: $\bar{n} \leq 10 - 15$. Их средняя продолжительность $\bar{\tau}$ около 1 часа, а максимальная τ_m – 3–5 ч. Бури здесь в основном наблюдаются весной и летом (70 - 80%), реже – осенью и зимой (20 - 30%). Преобладающие направления ветра – западные и близкие к ним румбы. Это говорит о том, что, как правило, бури связаны с прохождением атмосферных фронтов и в меньшей степени с развитием внутримассовых гроз. Бури наблюдаются в широком диапазоне температур: $\bar{T} = 13. . . 20$ °С, $\Delta T_{0,98} = -5 . . . 33$ °С.

На фоне такой малоинтенсивной буревой деятельности выделяются локальные районы, где она несколько повышена. Это крайняя северо-восточная часть Чуйской долины ($\bar{n} = 15. . . 20$, $n_m = 30. . . 40$), расположенная на периферии области распространения местных курдайских ветров, и район выхода р. Нарын в Ферганскую долину (шамалдысайский ветер) [9]. Бури здесь могут иметь аномальные СВ, В направления (до 40. . . 60 %), они достаточно часто наблюдаются в зимний период (до 25%) и соответственно имеют расширенную слева область вероятного диапазона температур ($\Delta T_{0,98} = -10 . . . 32$ °С).

Интегральной характеристикой частоты и длительности бурь является среднее количество часов с бурей в году (буречасов) $L = \bar{n} \cdot \bar{\tau}$. На рис.1 приведена схематическая картина территориального распределения L по всей территории Кыргызстана. Как видно, для днищ долин его северной, северо-западной и юго-западной областей $L < 15$, кроме двух названных локальных районов, где $L = 30$.

Максимальные скорости ветра в долинах северного, северо-западного и юго-западного Кыргызстана невелики. Если через V_1 и V_{10} обозначить скорости ветра, вероятные ежегодно и 1 раз в десять лет, то будем иметь характерные значения $V_1 = 15. . . 18$, а $V_{10} = 21. . . 25$ м/с. Они соответствуют условиям незащищенного расположения ветроизмеритель-

ных приборов. В населенных пунктах, лесонасаждениях и складках местности скорости могут быть ниже на 3...5 м/с и более.

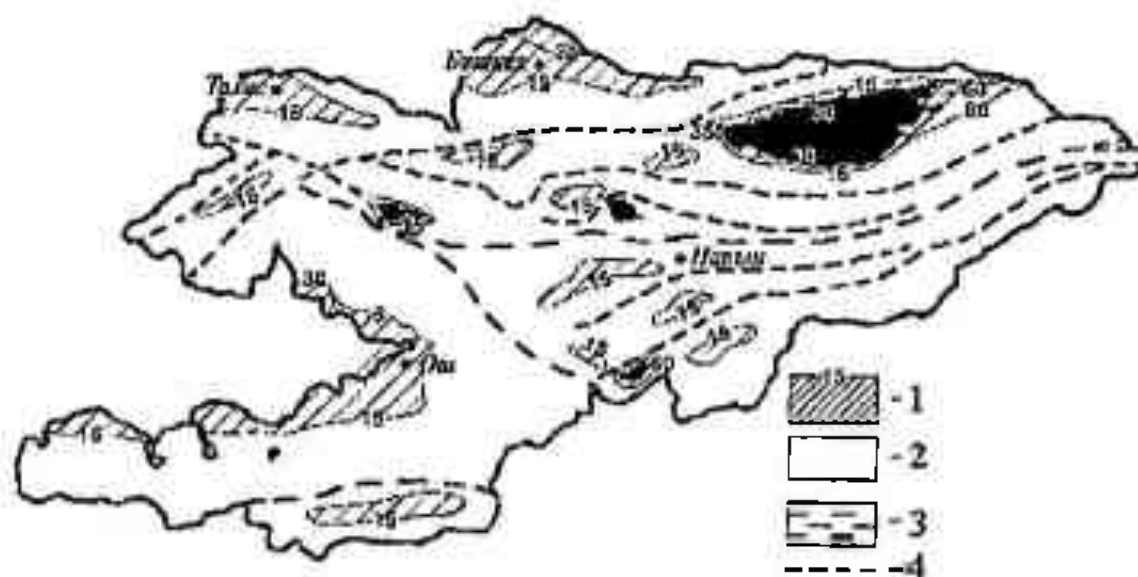


Рис. 1. Схематическая карта годовой длительности бурь I (буречасы) на территории Кыргызстана.

1 – области днищ долин и котловин с различными значениями буречасов; 2 – области склонов хребтов со значением буречасов от 16 до 30; 3 – переходная область в зоне с уланом; 4 – гребни основных хребтов.

Все склоновые метеостанции, расположенные на хребтах северного, северо-западного и юго-западного Кыргызстана, находятся в тальвегах узких склоновых долин и ущелий. Они хорошо защищены орографически бортами долин, имеющих превышения над тальвегом от сотен метров до 1...1,5 км. Это является определяющим фактором на развитие буревой деятельности. Ее интенсивность по данным метеостанций здесь очень мала и не зависит от высоты во всем их диапазоне от нижних частей склонов (1...1,5 км) до гребневой зоны (3...3,5 км) хребтов. Только с выходом на открытую гребневую линию высоких хребтов (3,5 км и более) буревая деятельность может резко усиливаться.

В тальвегах склоновых долин и ущелий фоновые значения частот бурь малы $\bar{n} \leq 1...6$; $n_m = 10...15$ при высоком $C(n) = 0,75...1,3$, что говорит о большой изменчивости частот от года к году. Длительность бурь также мала, $\bar{\tau} = 1$, $\tau_m = 3...5$ ч. Преобладают направления бурь вдоль долины, вверх или вниз по склону. В годовом ходе резко выражен весенне-летний максимум повторяемости бурь (60...90%) и только в пригребне-

вой зоне хребтов значительная их доля может приходиться на холодный период (30. . . 35 %).

Оказалось, что между высотой и температурой бурь имеет место линейная корреляционная связь с коэффициентами корреляции $r = -0,60. . . -0,80$ для различных квантильных характеристик. В табл.2 приведены рассчитанные по найденным регрессиям средние значения температур и их вероятные диапазоны по всем 78 метеостанциям Кыргызстана. Эти данные могут быть использованы в качестве фоновых для оценки характеристик буревых температур. Как видно, если в зоне подножий и нижней части склонов ($\Delta Z = 1. . . 1,5$ км) $\Delta T_{0,90} = 3. . . 30$ °С, а $\Delta T_{0,98} = -3. . . 33$ °С, то с высотой температуры бурь закономерно понижаются и на уровне 3,5 км составляют: $\Delta T_{0,90} = -14. . . 12$ °С, а $\Delta T_{0,98} = -18. . . 16$ °С. Эти цифры могут быть уточнены для многих районов по прямым расчетным данным расположенных там станций.

Максимальные скорости в тальвегах склоновых долин и ущелий являются самыми низкими по территории и не увеличиваются с высотой вплоть до гребневой зоны хребтов. Здесь характерные значения $V_i = 10. . . 14$, а $V_{10} = 15. . . 20$ м/с. Это, как уже отмечалось, объясняется высокой орографической защищенностью тальвегов, узостью и извилистостью склоновых долин.

Таблица 2

Рассчитанные значения буревых температур °С на различных высотах

Высота, км	Температура, °С	Вероятные диапазоны ΔT_p °С	
		$p = 0,90$	$p = 0,98$
0,5	19	3...30	-3...33
1,0	16	0...27	-6...30
1,5	13	-3...24	-8...28
2,0	10	-5...21	-11...25
2,5	6	-8...18	-13...22
3,0	3	-11...15	-16...19
3,5	0	-14...12	-18...16

На открытых участках склонов интенсивность буревой деятельности будет возрастать. Прямых данных метеостанций здесь нет. Поэтому можно говорить лишь о прогнозных оценках, основанных на полученных общих закономерностях. От подножья склонов до гребневой зоны хребтов

(~3,5 км) п, будет медленно возрастать от 10...15 до 25...30 на гребне. В сезонном ходе будут преобладать бури холодного периода. Их температурный диапазон может быть оценен по табл.2. Скорее всего, на гребнях он несколько сместится влево за счет повышения частоты зимних бурь. Число буречасов L также будет медленно увеличиваться с высотой от 15 в зоне подножий до 30 в пригребневой зоне (рис.1). И только непосредственно на гребнях высоких хребтов ($Z \geq 3,5$ км) оно может значительно возрасти.

Максимальные скорости на орографически открытых склонах хребтов линейно растут с высотой. Их значения могут быть оценены по рис.2, который построен нами по данным специальных экспедиционных ветровых съемок, т.к. станций здесь нет [8].

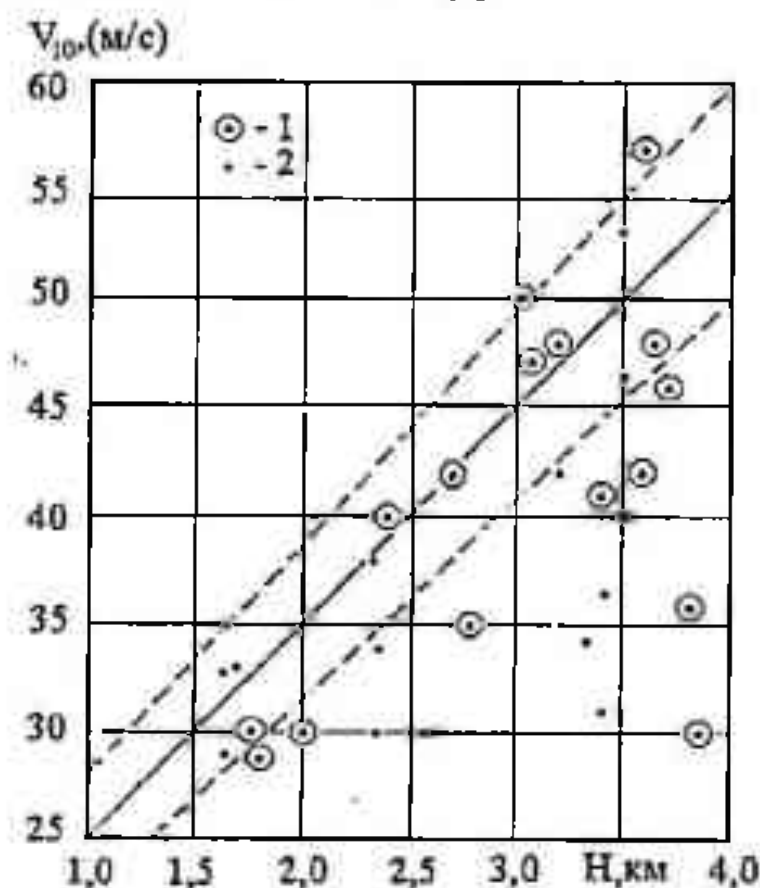


Рис.2. График высотной зависимости максимальных скоростей ветра, вероятных 1 раз в 10 лет для передовых хребтов Тянь-Шаня с высотами гребневой линии 3-4 км.

1 – основной экспедиционный пункт, радиорелейная станция, автоматическая радиометеорологическая станция; 2 – пункты микросъемки

Как видно, в зоне подножья ($z = 1$ км) фоновые значения $V_{10} = 25$ м/с закономерно увеличиваются с высотой, достигая на высотах 3 и 4 км значе-

ний 45 и 55 м/с. Зависимость на рис.2, полученная в абсолютных высотах для склонов и гребней высоких хребтов Тянь-Шаня, может служить важным дополнением к картам СНИП, на которых территория Кыргызстана выштрихована как неизученная [12].

Во Внутреннем Тянь-Шане почти все метеостанции расположены в днищах котловин, высоты и размеры которых приведены в [1]. По их данным здесь наблюдается та же качественная и количественная картина буревой деятельности, что и в днищах долин западного, юго-западного Кыргызстана независимо от высоты котловин вплоть до 3,6 км (предел расположения станций). Для склонов и гребней хребтов, где станций нет, следует принять косвенные оценки для частоты, направлений, длительности бурь, которые приведены выше для хребтов остальной части Кыргызстана. Исключение представляют максимальные скорости ветра. До высоты 3. . . 3,5 км они не растут с высотой места, так что характерные прогнозные оценки V_{10} равны 25. . . 30 м/с. Однако на открытых гребнях высоких хребтов, начиная с уровня 3,5 км и выше, где кончается прямое блокирующее влияние на скорости периферийных хребтов-барьеров, в качестве оценок V_{10} следует принимать значения по графику рис.2. Таким образом, с высоты 3,5 км скорости скачкообразно увеличиваются от 30 м/с до 45. . . 50 м/с.

В Иссык-Кульской котловине имеют место особые условия из-за наличия здесь двух бор – улана и санташа [5, 8, 11]. В западной ее части, в зоне с развитием улана, $\bar{n} = 55$, $n_m = 101$ и $C(n) = 0,32$. Это самая высокая интенсивность буревой деятельности ($L = 350$ буречасов в году), инструментально зарегистрированная на территории Кыргызстана. Максимальные скорости V_1 и V_{10} составляют 27 и 40 м/с. Средняя длительность бурь равна 6,4 ч, а максимальная – 24 ч. Бури несколько чаще наблюдаются весной (33%) чем в другие сезоны года (от 17 до 27%).

В восточной части котловины, где развит санташ, интенсивность буревой деятельности значительно ниже: $\bar{n} = 17$, $n_m = 75$, $L = 60$ (рис.1). Максимальные скорости невысоки – $V_1 = 16$ м/с, а $V_{10} = 24$ м/с, т.е. такие же, как и в остальных долинах и котловинах Кыргызстана. Направления при санташе аномальные – СВ и В (66%). Их длительность повышена, но не очень высока – средняя 3,5 ч, максимальная 14 ч. И улан и санташ проявляются как приземные струи, возникающие при вторжении холодного

воздуха в котловину и имеющие мощность не более 0,5 . . . 1км с максимумом скорости в приземном слое [9].

В центральной части котловины, где ни улан, ни санташ не наблюдаются, интенсивность буревой деятельности мала и такая же, как в других котловинах: $\bar{n} \leq 10. . . 12$, $n_m \leq 20. . . 25$, $C(n) = 0,60. . . 0,75$. Здесь почти нет зимних бурь (5%) и они имеют преимущественно западные или близкие к ним направления. Число буречасов в году L равно 15, а максимальные скорости V_1 и V_{10} составляют 13 и 22 м/с.

Приведенные в работе закономерности режима сильных ветров и числовые оценки их характеристик рекомендуются к практическому использованию для решения самых различных прикладных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Киргизской ССР. Том 1. Природные условия и ресурсы. – М.: ГУГК СССР, 1987. – 157 с.
2. Аэрологические характеристики пограничного слоя атмосферы Средней Азии. Книга 1. Статистические характеристики метеорологических элементов в различные часы суток. – Ташкент, САНИГМИ. - 1986. – 318 с.
3. Гельмгольц Н. Ф. Горно-долинная циркуляция северных склонов Тянь-Шаня.- Л.: Гидрометеиздат, 1963.- 330 с.
4. Заварина М.В. Строительная климатология.- Л.: Гидрометеиздат, 1976.— 336 с.
5. Климат Киргизской ССР / Под ред. З.А. Рязанцевой. -- Фрунзе: Илим, 1965. – 292 с.
6. Опасные гидрометеорологические явления в Казахстане / Под ред. Л.П. Тулиной. – М.: Гидрометеиздат, 1978. – 193 с.
7. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии / Под ред. А.Д. Джураева, С.Г. Чанышевой, О.И. Субботиной.- Л.: Гидрометеиздат, 1977.- 236 с.
8. Подрезов А.О. Максимальные скорости ветра на гребнях и склонах хребтов Кыргызстана // Гидрометеорология и экология. – 2000. - №2. – С. 231-239.
9. Подрезов О.А. Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 224 с.

10. Роджер Г. Барри. Погода и климат в горах / Пер. с англ. под ред. А. Х. Хргиана.- Л.: Гидрометеоиздат, 1984.- 311 с.
11. Рязузов В. Н. Штормы озера Иссык-Куль //Метеорология и гидрология в Узбекистане. - Ташкент: АН УзбССР, 1955.- С. 65 - 72.
12. Строительные нормы и правила. СНиП 2.0107—85. Нагрузки и воздействия.— М.: Стройиздат, 1986.— 35 с.

ҚЫРҒЫЗСТАН АУМАҒЫНДАҒЫ ҚАТТЫ ЖЕЛДЕР

А.О.Подрезов

Қырғызстан мен шекаралас республикалардың 96 метеостанцияларында жүргізілген көп жылдық бақылаулардың нәтижелерін статистикалық өңдеу және талдау жасау, сондай-ақ жоталардың жсон аймақтарында жел түсірісі негізінде қатты желдердің әртүрлі қолданбалы міндеттерді орындау үшін қажетті тәртібі сипаттарының (жиілігі, ұзақтығы, бағыты, жылдамдығы, т.б.) аумақтық таралуы заңдылықтары қарастырылады.

УДК 556.536

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПОЛУГОРНЫХ И ГОРНЫХ ПОТОКОВ

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов

Рассматриваются гидравлические сопротивления движению горных потоков путем анализа гидрометрических материалов. Показано, что квадратичному закону сопротивления соответствуют только физические условия движения потоков с уклоном $I \leq 0,001$. Потери напора на сопротивления горных потоков с уклонами $I \geq 0,004$ пропорциональны кубу числа Фруда или средней скорости в шестой степени. В диапазоне уклонов $0,001 \leq I \leq 0,004$ наблюдается постепенный переход от зоны квадратичного сопротивления к зоне сопротивления, пропорциональной скорости потока в шестой степени. Дополнительное сопротивление при движении полугорных и горных потоков обусловлены местными потерями напора.

В последние десятилетия исследованию гидравлических сопротивлений при движении воды в руслах горных рек уделяется большое внимание. Это связано с изучением максимального стока горных рек и катастрофических селевых потоков. Применение гидравлических методов для определения скоростей и расходов горных рек обусловлено трудностью, а зачастую и невозможностью измерения этих расходов гидрометрическими методами. В этих условиях все большее значение приобретает метод расчета скоростей и максимальных расходов на участке реки по гидравлическим элементам русла и уровням воды, определенным по следам прошедших паводков.

В настоящее время в инженерной гидрологии для расчета средней скорости водных потоков широко применяется формула Шези, полученная эмпирическим путем во второй половине XVIII века. В дальнейшем эта формула была частично обоснована теоретически в процессе исследования уравнения равномерного движения и приобрела полуэмпирический характер. Эта формула имеет следующий вид:

$$V = Ch\sqrt{gHI}, \quad (1)$$

где V - средняя скорость, м/с; Ch - число Шези - частное от деления средней скорости потока на его динамическую скорость; g - ускорение силы тяжести, м/с²; H - средняя глубина потока, приближенно принимаемая равной гидравлическому радиусу R ; I - уклон свободной поверхности потока.

$$Ch = C / \sqrt{g}, \quad (2)$$

откуда
$$C = Ch\sqrt{g}, \quad (3)$$

где C - скоростной коэффициент Шези, определяемый путем обработки натуральных данных, или по эмпирическим формулам.

Подставив (2) в (1) получим:

$$V = C\sqrt{HI}. \quad (4)$$

Формулу Шези (1), отражающую квадратичный закон сопротивления можно записать в следующем виде:

$$I = V^2 / (Ch^2 gH) \quad (5)$$

или
$$I = V^2 / (C^2 H). \quad (6)$$

Кроме этого формулу Шези можно представить в следующем виде:

$$I = Fr / Ch^2 \quad (7)$$

или
$$Fr = Ch^2 I, \quad (8)$$

где Fr - число Фруда - параметр кинетичности потока, представляющий отношение его удвоенной удельной кинетической энергии $V^2 / 2g$ к удельной потенциальной энергии H .

Выражения (5), (6) и (7) показывают, что в условиях равномерного движения гидравлическое сопротивление пропорционально квадрату скорости потока или параметру его кинетичности - числу Фруда.

Для определения скоростного коэффициента Шези C чаще всего используют формулу Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} H^{0,17} \quad (9)$$

и формулу Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} H^y, \quad (10)$$

где n - коэффициент шероховатости русла потока; y - параметр, зависящий от условий движения потока и состояния его русла.

Определение показателя степени y обычно производится с помощью формулы Н.Н. Павловского [2, 40] в зависимости от коэффициента шероховатости n и средней глубины потока H . Для горных рек уточненные выражения для определения y были предложены В.Ф. Толмазой [34] и А.К. Рябовым [27]. Обобщенное выражение для определения y в зависимости от указанных параметров, а также ускорения силы тяжести g предложено Г.В. Железняковым [13].

Уравнение Шези (4) с коэффициентом C по Маннингу имеет следующий вид:

$$V = \frac{1}{n} H^{0,67} I^{0,5}. \quad (11)$$

Как известно, потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений складывается из так называемых линейных потерь напора, затрачиваемых на преодоление сопротивлений трения и местных потерь напора, обусловливаемых резкими изменениями конфигурации границ потока [30].

Линейные потери напора изучены достаточно детально, как для условий равномерного, так и неравномерного движения водного потока. Их величина определяется квадратичным законом гидравлического сопротивления.

Местные потери напора, обусловленные чередованием сужений и расширений русла и его поворотами (резкое изменение поперечного сечения русла, гидравлические прыжки, водопады и др.), изучены недостаточно. В искусственных водных потоках, а так же в равнинных реках, где изменение поперечного сечения потока осуществляется весьма медленно, они невелики по сравнению с линейными потерями и ими обычно пренебрегают [40].

При расчете гидравлических сопротивлений полугорных и горных рек местные потери учитываются вместе с линейными потерями в результате определения скоростного коэффициента C , параметра шероховатости $1/n$ или коэффициента шероховатости n в формуле Шези по данным гидрометрических измерений характеристик потока [14].

До середины 30-х годов текущего столетия, в основном, считалось, что скоростной коэффициент Шези C зависит только от шероховатости русла и его геометрических размеров. Так, в работе [2] отмечается, что "все уравнения, в которых коэффициент Шези C зависит не только от гидравлического радиуса и коэффициента шероховатости (или то же, что от выступов шероховатости), но и от других факторов, по-видимому, следует признавать не отвечающими физическим условиям движения потоков". Следует полагать, что это замечание справедливо только для равномерного движения или для плавно изменяющегося неравномерного движения. Еще на Третьем гидрологическом съезде М.А. Великанов отмечал [4], что формула Шези, строго говоря, справедливая только для равномерного движения, в настоящее время условно распространяется на неравномерное движение и это упрощение является не совсем корректным. Применение формулы Шези в гидротехнической практике на горных реках позволило установить, что коэффициент C зависит и от гидродинамических параметров потока. Это подтверждается наличием зависимости величины C , а, следовательно, и коэффициента шероховатости n , от уклона горных рек и временных водотоков. Таким образом, следует полагать, что в условиях равномерного движения эти параметры зависят только от геометрических размеров и шероховатости русла. В условиях же неравномерного движения, характерного для полугорных и горных потоков, указанные параметры зависят также от их уклона. Это указывает на отклонения гидравлических сопротивлений указанных рек от квадратичного закона, по-видимому, за счет увеличения местных потерь. В связи с этим, многими авторами в формулы для определения коэффициентов Шези C и n для горных потоков, кроме характеристик шероховатости русла, его формы и размеров был введен гидродинамический параметр - уклон. Эти формулы имеют следующий вид:

$$C = BH^X I^{-Z} . \quad (12)$$

Для примера можно привести в нашей транскрипции некоторые формулы, полученные путем подстановки выражения вида (12) в уравнение Шези.

Формула Кханна [11, 31], полученная в 1936 г.,

$$V = 8,05H^{0,58} I^{0,3} , \quad (13)$$

откуда согласно выражению (4)

$$C = 8,05H^{0,08} I^{-0,30} , \quad (14)$$

где по формуле Маннинга

$$n = \frac{1}{8,05} H^{0,08} I^{0,2}. \quad (15)$$

Формула М.Ф. Срибного [31, 32], предложенная в 1936г.,

$$V = 6,5H^{0,67} I^{0,25}, \quad (16)$$

откуда с помощью (4) получим

$$C = 6,5H^{0,17} I^{-0,25}, \quad (17)$$

в которой

$$n = \frac{1}{6,5} I^{0,25}. \quad (18)$$

Формула В.М. Маккавеева [18], предложенная в 1940 г.

$$V = BH^{0,5} I^{0,33}, \quad (19)$$

откуда с помощью (4) получим:

$$C = \frac{B}{\sqrt[3]{HI}}, \quad (20)$$

где

$$n = \frac{1}{B} \sqrt[6]{HI}. \quad (21)$$

Параметр B для отдельных равнинных рек изменяется от 11,7 до 12,8 [18].

Формула В.Ф. Толмазы [34], полученная в 1960 г.,

$$V = 5H^{0,347} I^{0,20} \quad (22)$$

откуда по выражению (4)

$$C = 5H^Y I^{-0,30}, \quad (23)$$

где

$$n = 0,2I^{0,3}. \quad (24)$$

В заключение этого краткого обзора необходимо также привести одно из выражений для определения коэффициента шероховатости n горных потоков с $I > 0,005$, полученное В.Ф. Толмазой [35] в 1968 г. путем анализа формулы расчета не размывающей скорости горных рек Киргизии:

$$n = 0,2I\sqrt[3]{HI}. \quad (25)$$

Подставив (25) в формулу Шези-Маннинга (9) получим:

$$V = 4,76H^{0,33} I^{0,17}. \quad (26)$$

откуда с учетом (4):

$$C = 4,76 / \sqrt[3]{HI}. \quad (27)$$

В выражении (26) показатель степени при средней глубине вызывает сомнение, так как даже для потоков в критическом состоянии его величина составляет 0,5 и выше [13].

Необходимо отметить, что многие авторы устанавливали обратную статистическую зависимость скоростного коэффициента от уклона без деления рек на полугорные $0,001 \leq I \leq 0,004$ и горные $I \geq 0,004$. Это приводило к завышению показателя степени при уклоне для полугорных рек и его занижению для горных потоков.

Если рассматривать параметры шероховатости, зависящими только от характера поверхности и размеров русла, то приведенные формулы позволяют констатировать отступление от квадратичного закона для условий движения потоков на участках с большими уклонами. Однако в настоящее время зависимость C от уклона (уменьшение C с ростом I) не рассматривается как показатель несоответствия квадратичного закона сопротивления физическим условиям движения горных потоков. По мнению ряда авторов [38, 40, 42], зависимость $C = f(I)$ обусловлена тем, что с увеличением уклона возрастают размеры переносимых наносов, в связи, с чем увеличивается абсолютная и относительная шероховатость, следовательно, уменьшается коэффициент C и параметр шероховатости $1/n$. Коэффициенты шероховатости естественных русел, по их мнению, являются функциями гидродинамических параметров потока (в частности уклона) и поэтому не могут рассматриваться как независимые [38, 39, 41]. Это объяснение, по-видимому, не является достаточно обоснованным. При одинаковых уклонах горные реки транспортируют наносы различных фракций [16]. Это обусловлено особенностями геологического строения отдельных бассейнов. Русла малых горных периодических водотоков во многих случаях являются вообще не деформирующимися.

Необходимо отметить, что средний диаметр наносов, по-видимому, не является достаточно показательным при оценке шероховатости речных русел [13, 33]. Для этого необходимо располагать более полной статистической характеристикой фракционного состава, особенно крупных фракций наносов, которые даже при одинаковом среднем диаметре и дисперсии обычно различаются в два - три и более раз. Кроме этого необходимо располагать сведениями о концентрации наносов, которые для отдельных рек и их участков также могут различаться в несколько раз.

Исследования А.Н. Крошкина и других авторов показали, что средний диаметр наносов на горных реках зависит не только от уклона, но и от расхода воды [17] или глубины потока. Они установили, что с увеличением уклона, а также расхода или глубины потока диаметр транспортирующихся наносов увеличивается. Учитывая отмеченное выше разнообразие средних диаметров и количества наносов, переносимых при одинаковых уклонах полугорными и горными реками, а также то, что уклоны уменьшаются, а расходы воды и глубина потоков наоборот, увеличиваются вниз по течению, по-видимому, не следовало бы по этим причинам ожидать определенной связи параметра $1/n$ или коэффициента шероховатости n от уклона. Однако как показали исследования некоторых авторов [19, 35], такая связь существует. По мнению автора, эта связь, в значительной мере косвенно, отражает зависимость указанных параметров от характера обтекания потоком, сформированных им русловых образований и неровностей, а также неподвижных или транспортируемых наносов.

Необходимо отметить, что на различных участках рек зависимости шероховатости от гидродинамических параметров потока не могут быть сравнимыми в связи с различием материала, слагающего долину и русло. Однако анализ наблюдений показывает, что независимо от количества транспортируемых наносов и их размеров значения C и $1/n$ для горных рек уменьшаются с увеличением уклонов. В связи с этим можно предполагать, что сопротивление движению воды горных рек, в общем, возрастает не только в результате увеличивающейся шероховатости их русел, но и в результате воздействия гидродинамического параметра - уклона горных потоков на условия обтекания им движущихся наносов, донных отложений и неровностей русла.

Водные потоки по характеру течения подразделяются на спокойные и бурные [2, 14, 40]. Спокойные потоки плавно обтекают встречающиеся препятствия и имеют относительно ровную (с уклоном вниз по водному течению) поверхность. Такой характер движения является типичным для равнинных и отчасти для полугорных рек. Горные потоки при обтекании препятствий образуют гидравлические прыжки и водопады, их поверхность является крайне неровной. В условиях неравномерного движения потока она обычно представляет собой систему остановившихся волн - гидравлических прыжков [14]. Такой режим движения воды характерен для полугорных и горных рек. Здесь уместно привести слова М.А.

Великанова [3], который отмечал, что на горных реках "...мы имеем случай русел чрезвычайной шероховатости, вообще мало исследованных опытным путем, в которых сопротивление очень быстро возрастает со скоростью".

Как известно, из гидравлики при одинаковых размерах препятствий и неровностей русел потери энергии, для спокойных потоков будут незначительны, а для бурных потоков они будут очень большими. Поэтому следует полагать, что связи параметров шероховатости $1/n$ или коэффициента шероховатости n и среднего диаметра русловых отложений, косвенно отражают зависимость гидравлических сопротивлений от уклона, а, следовательно, от скорости потока и характера обтекания им неподвижных или транспортируемых наносов, а также неровностей речных русел. По-видимому, этим можно объяснить уменьшение скоростного коэффициента C и параметра шероховатости $1/n$ с увеличением уклона.

Полугорные и горные потоки, формирующие свое русло, по-видимому, являются системами, характеризующимися наличием обратной связи между их скоростью и гидравлическими сопротивлениями. В таких потоках при увеличении скорости, зависящей от уклона ($H=const$) наблюдается увеличение шероховатости при формировании речного ложа, а также сопротивления при отекании донных отложений и неровностей русла.

Связь параметра шероховатости $1/n$ в формуле Шези-Маннинга и уклона потока показана на рис. 1. Для определения $1/n$ и построения этой связи использованы материалы измерений скоростей течения воды и гидравлических характеристик на реках Средней Азии, Южного, Юго-Восточного и Восточного Казахстана, помещенные в гидрологических ежегодниках, а также материалы наблюдений на реках других районов СНГ, заимствованных из работ ряда авторов [6, 12, 19, 20, 29, 31, 34].

Кроме этого для построения этой связи использованы обобщенные значения $1/n$ для катастрофических водных и селевых паводков, опубликованные в работах М.Ф. Срибного [31], Н.М. Носова [22], И.П. Смирнова [28] и Р.А. Шестаковой [42]. Материалы, использованные для построения графика рис.1, характеризуют достаточно широкий диапазон изменения всех гидравлических элементов потока. При использовании этих материалов коэффициент шероховатости n определялся с помощью формулы Шези-Маннинга по данным гидрометрических измерений скорости, уклона и

средней глубины потока. Это позволяет при определении и учесть как линейные, так и нелинейные местные сопротивления на участках рек и временных водотоков.

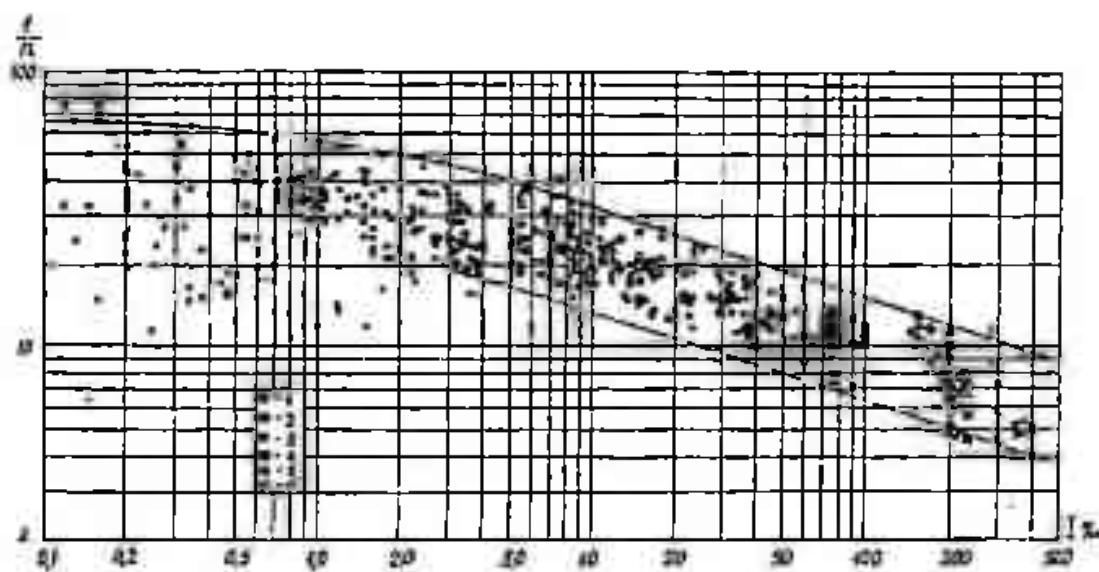


Рис.1. Зависимость параметра шероховатости турбулентных потоков I/n от уклона $I, ‰$:

1 - по данным гидрометрических измерений; 2 - по материалам М.М. Носова; 3 - по материалам М.Ф. Срибнога; 4 - по материалам Р.А. Шестаковой; 5 - по данным И.П. Смирнова; 6 - Сели рек Дуруджи, Чемолган, микросели

Связь, представленная на рис.1, показывает, что зависимость между значениями I/n и I при уклонах $I \leq 0,001$ практически отсутствует, что указывает на соответствие физических условий движения потоков квадратичному закону сопротивления. При уклонах $I > 0,001$ наблюдается определенная зависимость $I/n = f(I)$, причем ее характер изменяется по мере увеличения уклона.

Аналитическое выражение этой зависимости имеет следующий вид:

$$\frac{I}{n} = \frac{I}{m(I + 0,001)^{0,33}} \quad (28)$$

или
$$n = m(I + 0,001)^{0,33}, \quad (29)$$

где m - коэффициент шероховатости полугорных и горных рек, зависящий только от характера поверхности, формы и размеров русла.

Подставив значение I/n в формулу Маннинга (9) получим:

$$C = \frac{H^{0,17}}{m(I + 0,001)^{0,33}} \quad (30)$$

Следует отметить, что зависимость $1/n = f(I)$ наиболее четко выражена при уклонах $I \geq 0,004$. Если принять, что значение критического уклона $I = 0,004$, по Буссинеску отделяет в среднем бурные потоки от спокойных [31], то зависимость $1/n = f(I)$ при уклонах $I \geq 0,004$ будет характеризовать условия движения горных потоков. Для $I \geq 0,004$ зависимость (28) $1/n = f(I)$ имеет следующий вид [9]:

$$\frac{1}{n} = \frac{I}{mI^{0,33}} \quad (31)$$

или
$$n = mI^{0,33}, \quad (32)$$

где математическое ожидание m примерно равно 0,21 ($1/m = 4,75$).

Необходимо отметить, что при $H = 1$ м параметры формулы автора (32) и формулы В.Ф. Талмазы (25) практически совпадают.

При использовании выражения (3) коэффициент Шези-Маннинга будет равен:

$$C = \frac{H^{0,17}}{mI^{0,33}} \quad (33)$$

Ниже будет показано, что для турбулентных селевых потоков C будет равно:

$$C = \frac{1}{mI^{0,33}} \quad (34)$$

Полученная зависимость (31) подтверждается и для условий искусственно созданной в устойчивом русле усиленной шероховатости, которая приводит к увеличению глубин потока и к уменьшению скорости течения воды [2, 40]. Сведения, приведенные в работе М.Д. Чертоусова [40] позволяет показать это на отдельных примерах.

Плотоход с усиленной шероховатостью, построенный на р. Лабе (Чехословакия) при уклоне 0,027 характеризуется коэффициентом $n_{\gamma} = 0,082$ ($1/n_{\gamma} = 12,2$) или коэффициентом $m = 0,273$ ($1/m = 3,66$) в формулах автора для определения коэффициента Шези. Плотоход между р. Лаучей и р. Дауговой при уклоне 0,03 и при различных конструкциях усиленной шероховатости характеризуется коэффициентами $n_{\gamma} = 0,045 \div 0,148$, в среднем $n_{\gamma} = 0,096$ ($1/n_{\gamma} = 10,4$) или $m = 0,309$ ($1/m = 3,24$). Быстроток с усиленной шероховатостью на канале Кош-Тегермен при уклоне дна 0,25 и

глубине 0,8 м характеризуется коэффициентом $n_{\gamma} = 0,18$ ($1/n_{\gamma} = 5,6$) или $m = 0,286$ ($1/m = 3,50$). Быстроток с усиленной шероховатостью на канале Янги при уклоне дна 0,50 и глубине 0,85 м характеризуется коэффициентом $n_{\gamma} = 0,23$ ($1/n_{\gamma} = 4,36$) или $m = 0,29$ ($1/m = 3,45$).

Эксперименты в лотке с усиленной шероховатостью, проведенные для обоснования рыбохода на р. Урте (Бельгия) показали, что при уклонах 0,26 ($\theta = 15^{\circ}$) и 0,57 ($\theta = 35^{\circ}$) и гидравлическом радиусе 0,5 м коэффициент $n_{\gamma} = 0,195$ ($1/n_{\gamma} = 5,12$) или $m = 0,26$ ($1/m = 3,85$).

Приведенные примеры показывают, что в потоках со значительными уклонами более 0,004 и усиленной шероховатостью (каналах, полоходах, рыбоходах и др.) параметр $1/n_{\gamma}$ изменяется от 10,4...12,2 при уклонах 0,027...0,030, до 4,36...5,6 при уклонах 0,26...0,57. Это подтверждает установленную зависимость его величины от уклона для естественных горных потоков. При тех же условиях значения параметра $1/m$ колеблются в пределах 3,24...3,85 и не зависят от уклона. Это подтверждает установленные выше закономерности и указывает на то, что гидравлические сопротивления при движении воды в рассматриваемых быстротоках в значительной мере определяются не видами (конструкциями) усиленной шероховатости, а характером их обтекания потоком.

Результаты исследований гидравлических сопротивлений аэрированных потоков, опубликованные в [40], также подтверждают наличие зависимости коэффициента шероховатости в формуле Шези от уклона (30). Как отмечает М.Д. Чертоусов в водотоках с большими уклонами дна (быстротоках) происходит насыщение движущейся воды частицами окружающего воздуха, то есть аэрация потока, которая, по-видимому, является признаком неравномерности его движения. Количество воздуха, содержащегося в аэрированных потоках может быть обозначено коэффициентом водонасыщенности β , представляющим собой отношение объема воды к объему двухфазной жидкости (объем воды + объем воздуха). По мнению М.Д. Чертоусова, в условиях равномерного движения следует принимать $\beta = const$, и скорость аэрированных потоков определять в результате обычного гидравлического расчета при повышенном значении коэффициента шероховатости, определяемом с помощью соотношения:

$$n_a = n / \beta, \quad (35)$$

где n_a - коэффициент шероховатости аэрированного потока; n - коэффициент шероховатости не аэрированного потока, в условиях равномерного движения, например, в формуле Маннинга (8).

Однако исследования Эренбергера [40] показали, что гидравлические сопротивления в аэрированных потоках даже в условиях равномерного движения не соответствуют квадратичному закону сопротивления. Данные опытов в деревянном лотке с $I \leq 0,476$ (угле наклона $\theta \leq 28,5^\circ$) при $R \leq 0,30$ м позволили установить, что коэффициент влагонасыщенности β обратно пропорционален уклону в степени 0,26. Это подтверждает существование общей значительной тенденции увеличения коэффициента шероховатости с увеличением уклона, которая указывает на то, что движение аэрированных потоков не соответствует квадратичному закону сопротивления.

Приближенная схема расчета неравномерного движения в условиях аэрированного потока предложена А.А. Ничипоровичем [21]. В этой схеме аэрированный поток рассматривается как некоторый фиктивный не аэрированный поток, русло которого характеризуется несколько большей шероховатостью. На основании данных наблюдений неравномерного движения в потоке он для определения коэффициента шероховатости аэрированного потока n_a рекомендует следующее соотношение:

$$n_a = \mathcal{E}n, \quad (36)$$

где n - коэффициент шероховатости не аэрированного потока, например, в формуле Маннинга (9).

По данным А.А. Ничипоровича коэффициенту \mathcal{E} в зависимости от уклона I следует придавать следующие значения:

I	0,1 ÷ 0,2	0,2 ÷ 0,4	>0,4
\mathcal{E}	1,33	1,33 ÷ 2,00	2,0 ÷ 3,33

Нижний предел этого коэффициента соответствует глубине потока 0,1...0,3 м а верхний - глубине менее 0,1 м.

С помощью этих значений можно установить зависимость $\mathcal{E} = f(I)$ и определить ее параметры. Используя $\mathcal{E} = 1,33$ при уклоне равном 0,15 и $\mathcal{E} = 1,665$ при уклоне 0,3 имеем:

$$\mathcal{E} = 2,5I^{0,33}. \quad (37)$$

Подставив значение \mathcal{E} из (37) в (36) получим:

$$n_o = 2,5nI^{0,33}, \quad (38)$$

Обозначив, $2,5n = m$ получим выражение вида (32), полученное автором при установлении зависимости коэффициента шероховатости горных рек от их уклона. Изложенное выше показывает, что зависимость коэффициента шероховатости азрированных потоков (быстротоков) от уклона также соответствует установленной автором зависимости для естественных горных потоков.

Рассмотрим теперь характеристики гидравлических сопротивлений в руслах горных потоков. Подставив значение параметра $1/n$ из выражений (30) и (31) в формулу Шези-Маннинга (11) для соответственно полугорных и горных рек $I \geq 0,001$ получим:

$$V = \frac{1}{m} H^{0,67} (1 + 0,001)^{0,17}, \quad (39)$$

а для горных рек $I \geq 0,004$:

$$V = \frac{1}{m} H^{0,67} I^{0,17}. \quad (40)$$

Формула такого вида с несколько отличающимися значениями параметра $1/m$ получена во второй половине 60-х годов текущего столетия независимо С. Герасимовым (Георгиевым) для горных водотоков бассейна р. Марицы в Болгарии [6, 7] и автором для горных рек Средней Азии и других регионов бывшего Союза [8, 9]. На рис.2 представлена связь обратной величины коэффициента шероховатости $1/m$ в формуле (40) и среднего уклона водотока I . Для ее построения (по сравнению с рис.1) использованы некоторые дополнительные сведения о скоростях течений и гидравлических элементах русел, опубликованные в Гидрологических ежегодниках и научных работах. Переход от обобщенных значений $1/n$ к значениям $1/m$ осуществлялся с помощью выражения:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{n} I^{0,33} \quad (41)$$

На графике (рис. 2) видно, что связь между $1/m$ и I практически отсутствует. Это подтверждает обоснованность выражений (28) и (31) и структуры формул (39) и (40). Отсутствие связи этих гидравлических характеристик также указывает на возможность использования для уклонов $I \geq 0,004$ постоянного (наиболее вероятного) значения $1/m$ в формуле (40) или осуществления классификации этого параметра с разделением диапазона его изменений на 2-3 категории. Проведенные исследования [6, 7]

позволили установить, что наиболее вероятное значение параметра $1/n$ для водных потоков, по-видимому, находится в середине диапазона 4,5... 5,0 и может быть принято равным – 4,75. При значении параметра $1/n = 4,5$ формула (40) была рекомендована автором для расчета средней скорости наносоводных потоков [24, 25].

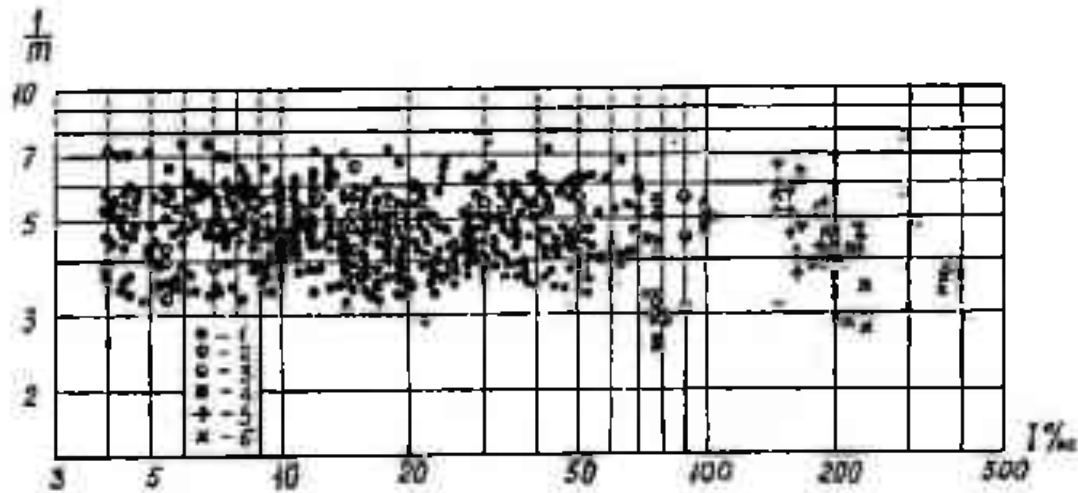


Рис. 2. Связь параметра шероховатости турбулентных горных потоков $1/n$ и уклона I , ‰:

1 - по данным гидрометрических измерений; 2 - по материалам М.М. Носова; 3 - по материалам М.Ф. Срибного; 4 - по материалам Р.А. Шестаковой; 5 - по данным И.П. Смирнова; 6 - сели рек Дуруджи, Чемолган, микросели

Имеющиеся материалы позволили сделать вывод о возможности использования в гидрологических расчетах формулы М. Ф. Срибного (16). Эта формула с постоянным показателем шероховатости $B = 6,5$ рекомендована для рек с уклонами $I > 0,0005$. График на рис. 1 показывает, что

зависимость $\frac{1}{n} = f(I)$ для уклонов $I > 0,0005$ имеет различный характер и, следовательно, не может быть точно описана с помощью выражения вида

$$\frac{1}{n} = BI^{-0,25} \quad (42)$$

положенного в основу вывода этой формулы. Нами была проведена оценка применимости формулы (42) только для горных рек с $I \geq 0,004$. Для этой цели были использованы те же материалы, что и для проверки формулы (31). Переход от обобщенных значений $1/n$ к значениям B осуществлялся с помощью выражения

$$B = \frac{1}{n} I^{0,25} \quad (43)$$

На рис. 3 представлена связь показателя шероховатости B в формуле (42) и среднего уклона водотоков. Данные рис. 3 показывают, что имеется обратная зависимость $B=f(I)$. Наличие такой зависимости отражают и табличные материалы обобщенных значений $1/n$ для различных диапазонов, приведенные М. Ф. Срибным в одной из последних работ и использованные при построении зависимости на рис.2 с помощью выражения (42). Поэтому ошибки с разными знаками при использовании формулы М. Ф. Срибного для расчетов средней скорости горных потоков не будут равновероятными при различных уклонах [9]. Следовательно, формула М. Ф. Срибного недостаточно точно отражает зависимость $\frac{1}{n} = f(I)$

для рек с уклонами $I \geq 0,004$. Необходимо отметить, что многие авторы устанавливали обратную статистическую зависимость скоростного коэффициента от уклона без разделения рек на полугорные $0,001 \leq I \leq 0,004$ и горные $I \geq 0,004$. Это приводило к завышению показателю степени при уклоне для полугорных рек и его занижению для горных потоков.

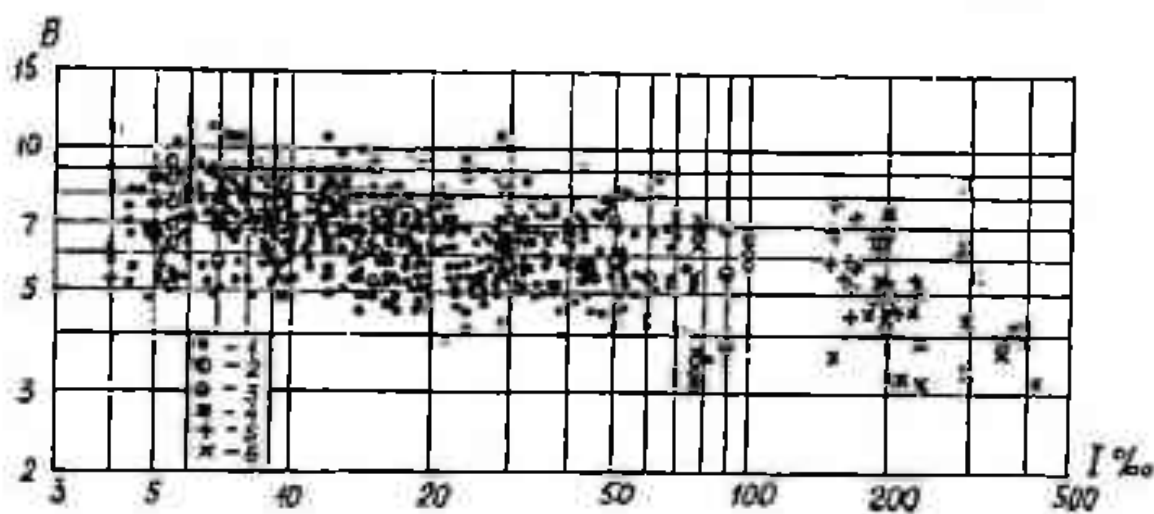


Рис. 3. Связь параметра шероховатости турбулентных горных потоков B и уклона $I, ‰$:

1 - по данным гидрометрических измерений; 2 - по материалам М.М. Носова; 3 - по материалам М.Ф. Срибного; 4 - по материалам Р.А. Шестаковой; 5 - по данным И.П. Смирнова; 6 - сели рек Дуруджи, Чемолган, микросели

Рассмотрим возможность использования формулы (40) для расчета селевых потоков высокой плотности. Обозначим:

$$C_n = \frac{1}{m} H^{0.17}. \quad (44)$$

Тогда
$$V_c = C_n H^{0.5} I^{0.17}, \quad (45)$$

где C_n - коэффициент скорости для неравномерного потока.

Как показали исследования автора [10] и И.И. Херхеулидзе [36] для турбулентных селевых потоков средняя скорость пропорциональна корню квадратному из средней глубины. На рис. 4 показана зависимость средней скорости турбулентных селевых потоков от их средней глубины.

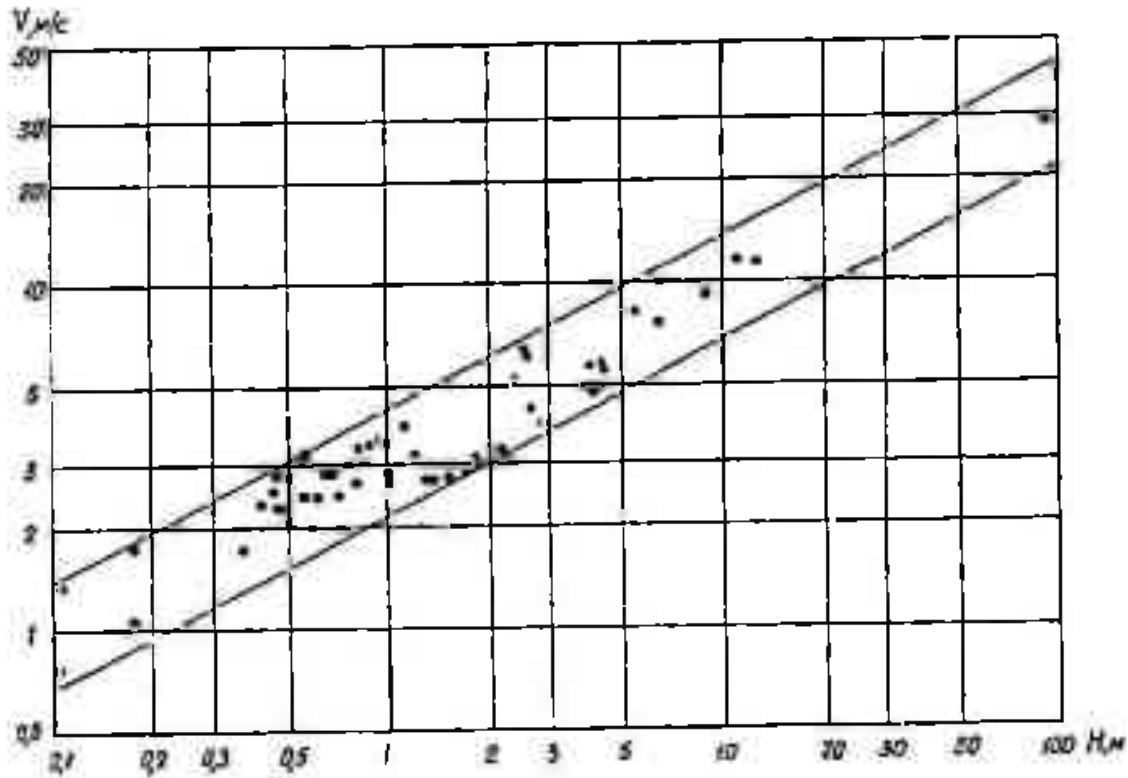


Рис. 4. Зависимость средней скорости турбулентных селевых потоков от их средней глубины

По сравнению с ранее выполненным исследованием автора [10] она дополнена данными натуральных селевых экспериментов в русле реки Чемоган [15, 37] и сведениями о селевом потоке в бассейне реки Санта (Перу) [23]. Она также показывает, что средняя скорость турбулентных потоков пропорциональна корню квадратному из средней глубины. В этом случае показатель степени при H в выражениях (9) и (44) может быть принят равным нулю. Это указывает на то, что для селевых потоков коэффициенты скорости C и C_n не зависят от средней скорости потока и следовательно:

$$C_n = 1/m. \quad (46)$$

Это, по-видимому, связано с тем, что при движении водного потока увеличение скоростного коэффициента с увеличением его глубины обусловлено уменьшением относительной шероховатости Δ/H с увеличением H , где Δ - высота выступов шероховатости русла. Эти выступы могут представлять собой неровности слоя неподвижных или движущихся донных наносов. Для селевых потоков такая зависимость отсутствует, по-видимому, в связи с достаточно равномерным перемешиванием и распределением твердого материала в селевой массе [5, 33].

В соответствии с (46) формула для определения средней скорости движения турбулентных селевых потоков (45) записывается в следующем виде:

$$V = \frac{I}{m} H^{0,5} I^{0,17}, \quad (47)$$

где математическое ожидание $I/m = 4,25$.

Выражение для определения коэффициента скорости C_n по аналогии с (3) можно записать в следующем виде:

$$C_n = Cr \sqrt{g}, \quad (48)$$

где Cr - коэффициент сопротивления для неравномерного потока.

Тогда подставив (48) в (45), получим:

$$V = Cr \cdot g^{0,5} \cdot H^{0,5} \cdot I^{0,17}. \quad (49)$$

Формулу (49), отражающую закон гидравлического сопротивления для неравномерного горного потока, можно также записать в следующем виде:

$$I = \frac{V^6}{C_n^6 H^3}. \quad (50)$$

Следовательно, потеря напора на определение гидравлических сопротивлений в условиях автомодельной области турбулентного режима на горных реках ($I \geq 0,004$) пропорциональна средней скорости течения в шестой степени. Как видно на рис. 1, в диапазоне уклонов $0,001 < I < 0,004$ наблюдается постепенный переход от зоны квадратичного сопротивления, к зоне сопротивлений, пропорциональных средней скорости потока в шестой степени. Эти результаты подтверждают вывод О.М. Айвазяна о существовании послеквадратичной зоны сопротивления. По его мнению, существование этой зоны при нарастающих значениях числа Рейнольдса можно объяснить только влиянием на сопротивление числа Фруда [1]. В по-

следнее десятилетие рядом исследователей действительно получено подтверждение впервые наблюдаемой Базеном зависимости сопротивления от числа Фруда. Так, в работе [1] установлено, что при постоянном уклоне коэффициент сопротивления λ обратно пропорционален корню квадратному из числа Фруда. Эта зависимость при постоянном уклоне отражает изменение сопротивления при изменении числа Фруда за счет наполнения русла, т.е. за счет колебаний глубины потока. Следует полагать, что при постоянном наполнении русла наблюдается зависимость сопротивления от числа Фруда и за счет изменения уклона водотоков. Характер этой зависимости изменится при переходе от равнинных рек к горным рекам. Если для равнинных рек эта зависимость линейна, то для горных рек она существенно не линейна. Можно с помощью элементарных преобразований показать, что формула (40) отражает зависимость сопротивления от числа Фруда [9]. Для этого, представим уравнение (49) в следующем виде:

$$I = \frac{V^6}{Cr^6 g^3 H^3} \quad (51)$$

Далее учитывая выражение для числа Фруда (7) получим:

$$I = \frac{Fr^3}{Cr^6} \quad (52)$$

или
$$Fr = Cr^2 I^{0,33} \quad (53)$$

Следует отметить, что выражение практически с таким же показателем степени при уклоне получено А.К.Рябовым [26] при установлении зависимости предельных значений числа Фруда от уклона.

На рис. 5 приведена зависимость числа Фруда от уклона в диапазоне его изменений от 0,0001 до 0,1. Для построения этой зависимости были использованы характеристики рек бывшего Союза, включая данные, опубликованные в работах [12, 19, 20, 29, 31, 34], а также сведения, приведенные в статье С. Герасимова (Георгиева) для водотоков Болгарии [6].

На рис. 5 отчетливо прослеживаются две автомодельные области гидравлических сопротивлений соответствующие уравнениям (8) и (54). Одна из них ($0,0001 < I < 0,001$) характеризует пропорциональность гидравлических сопротивлений числу Фруда или квадрату скорости, вторая область ($I > 0,004$) отражает пропорциональность их значений кубу числа Фруда или скорости потока в шестой степени. Между этими автомодель-

ными областями гидравлических сопротивлений существует переходная область ($0,001 \leq I \leq 0,004$), где по мере увеличения уклона они изменяются от значений пропорциональных числу Фруда до значений пропорциональных числу Фруда в третьей степени.

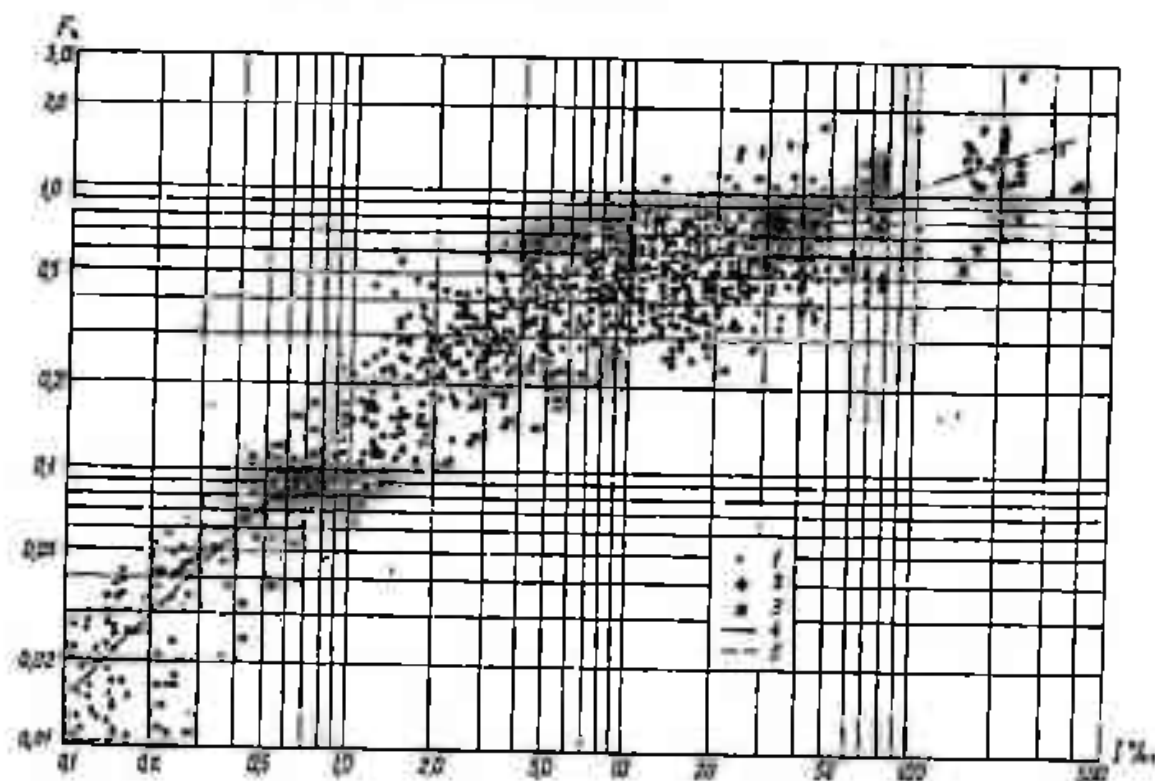


Рис. 5. Зависимость числа Fr турбулентных потоков от уклона $I, ‰$:
 1 - по данным гидрометрических измерений; 2 - по материалам И.П. Смирнова; 3 - селевые потоки рек Дуруджи, Кокчека и Чемолган; 4 - Квадратичная область; 5 - послеквадратичная область

Располагая зависимостями для расчета общих (линейных и местных) потерь напора (послеквадратичная область) и линейных потерь напора (квадратичная область) можно путем анализа их соотношения определить зависимость местных потерь напора от числа Фруда [9].

Обозначим линейные потери напора через I_j , а общие потери напора через I_w . Тогда:

$$I_w = \Delta I_j I_j, \quad (54)$$

где ΔI_j - местные потери напора. Определив ΔI_j из выражения (54), можно путем подстановки значений I_w и I_j из выражений (52) и (7), и выполнения необходимых упрощений, получить:

$$\Delta I_j = k Fr^2, \quad (55)$$

где $k = Ch^2/Cr^6$ - обобщенный коэффициент пропорциональности.

Таким образом, дополнительное сопротивление, возникающее при движении воды в руслах горных рек ($I \geq 0,004$) пропорционально квадрату числа Фруда.

Как справедливо отмечает А.В. Караушев [14], характерной особенностью горных рек и временных водотоков, уклон которых превышает критическое значение, являются гидравлические прыжки, образующиеся перед препятствиями и в местах резкого уменьшения уклона. Это явление сопровождается потерей энергии потока. Поэтому следует полагать, что дополнительное сопротивление в горных потоках обусловлено местными потерями напора, связанными с их шероховатостью, гидравлическими прыжками и водопадами, резкими изменениями направления русла, а также его формы и размеров.

Проведенные исследования гидравлических сопротивлений естественных водных потоков позволяют сделать основные выводы:

1. Параметр шероховатости $1/m$ полугорных и горных рек ($I \geq 0,001$) уменьшается с увеличением уклона:

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{m(I + 0,001)^{0,33}}$$

2. Для горных рек ($I \geq 0,004$) зависимость $\frac{1}{n} = f(I)$ имеет следующий вид: $\frac{1}{n} = \frac{1}{mI^{0,33}}$ или $n = mI^{0,33}$.

Для полугорных рек ($0,001 \leq I \leq 0,004$) показатель степени при уклоне в условиях его увеличения изменяется от нуля при $I \leq 0,001$ до 0,33 при $I \geq 0,004$.

3. Для расчета средней скорости полугорных и горных рек ($I > 0,001$) может быть использована полученная автором формула следующего вида:

$$V = \frac{1}{m} H^{0,67} (I + 0,001)^{0,17}.$$

Для горных рек ($I \geq 0,004$) она может быть представлена в следующем виде:

$$V = \frac{1}{m} H^{0,67} I^{0,17}.$$

В этих формулах математическое ожидание $1/m = 4,75$.

УДК 551.461.25 (465.75)

**О ВЛИЯНИИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА
УРОВЕНЬ КАСПИЙСКОГО МОРЯ**

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов

Канд. техн. наук В.И. Ли

Канд. геогр. наук В.П. Попова

Рассмотрены характеристики стока р. Волга и уровня Каспийского моря при антропогенном изменении климата в первой половине XXI века. Для оценки возможных изменений температуры воздуха и атмосферных осадков использовались равновесные и трансиентные модели общей циркуляции атмосферы. Показано, что при изменении климата, которое ожидается в середине XXI века, уровень моря может увеличиться на 5 м по отношению к его современному значению (минус 27 м) и достигнуть отметки минус 22 м, наблюдавшейся в начале XIX века.

Введение

Каспийское море - крупнейший бессточный водоем земного шара. Его водная поверхность занимает более 390 тыс. км², а площадь водосбора составляет около 3,1 млн. км², из которой 29,4% приходится на бессточные области. Общая протяженность береговой линии Каспия равна 7 тыс. км, в том числе в пределах территории Казахстана около 2,3 тыс. км. В море впадают реки Волга, Кура, Урал, Терек. Сулак, Самур и ряд мелких притоков, большинство которых доносит свои воды только в многоводные годы. Для Каспийского моря характерны квазипериодические (циклические) колебания уровня, которые в основном обусловлены климатическими факторами. Амплитуда этих колебаний за последние 450-500 лет составляет около 7 м.

Изменение уровня Каспийского моря за единицу времени, как известно, описывается уравнением водного баланса:

$$\Delta Z = W / \omega(Z) + W_g / \omega(Z) + P - W_{\text{вг}} / \omega(Z) - E, \quad (1)$$

где ΔZ - изменение уровня моря; W - объем речного стока в море; W_g - объем подземного стока в море; P - слой осадков, выпадающих на поверх-

ность моря; $W_{\text{кбг}}$ – объем воды поступающий из моря в залив Кара – Богаз – Гол; E – слой воды испаряющейся с поверхности моря; $\omega(Z)$ – площадь моря, определяемая в зависимости от его уровня.

Исследовательская модель

В Казахском научно-исследовательском институте мониторинга окружающей среды и климата (КазНИИМОСК) была разработана модель расчета уровня моря, в основу которой положено уравнение водного баланса водоема. Эта модель, реализованная на персональном компьютере, позволяет рассчитывать уровни моря по стоку в водоем с учетом его изменений за счет возможных колебаний климата и изменения водопотребления в бассейне при различных значениях эффективного испарения (испарение минус осадки) и поступления воды в залив Кара-Богаз-Гол [2]. При проведении исследований и выполнении водно-балансовых расчетов в качестве основной информации использовались сведения об уровне моря за 1556 - 1829 гг., восстановленные по-историческим и другим источникам в середине текущего столетия, и за 1830 - 1998 гг. - полученные путем непосредственных наблюдений.

Расчетные характеристики уровня Каспийского моря являются исходными при проектировании гидротехнических сооружений, а также промышленных и хозяйственных объектов в прибрежной зоне. Этому вопросу обычно уделяется первостепенное внимание потому, что использование в проектных проработках недостаточно обоснованных отметок уровня моря может привести и часто приводит к значительным дополнительным затратам, оцениваемым в десятки и сотни миллионов долларов. Поэтому было необходимо обеспечить проектные и строительные организации достаточно обоснованными данными о высоких уровнях моря редкой повторяемости.

Исследования и расчеты, выполненные в КазНИИМОСК показали, что в современных климатических условиях при достигнутом в бассейне Каспия водопотреблении, равном $40 - 45 \text{ км}^3/\text{год}$ [2], уровни моря 1%-ой обеспеченности (повторяемости один раз в 100 лет) имеют отметку минус 26 м, а уровни 0,1 %-ой обеспеченности (повторяемость один раз в 1000 лет) - около минус 25 м. Они также показали, что при отсутствии водопотребления в бассейне Каспия уровень моря в середине 90-х годов превысил бы наблюдаемые значения на 1,5 м и приблизился к отметке минус 25 м.

Влияние изменения климата

Вопрос об изменении уровня Каспийского моря в первой половине XXI века не может быть решен без рассмотрения влияния на его величину возможного антропогенного изменения климата – повышения температуры воздуха нашей планеты за счет увеличения роли парникового эффекта в ее тепловом балансе. В решении совещания по изменению климата, организованного ВМО в Филлахе (Австрия) в 1985 г., отмечалось, что изменение химического состава атмосферного воздуха, обусловленного увеличением содержания в атмосфере так называемых парниковых газов, в первую очередь углекислого газа CO_2 , образующегося при сжигании углеродного топлива (уголь, нефть, сланцы), а также малых газовых примесей: метана, окислов азота, фреонов и других [1], приведет в недалекой перспективе к значительному потеплению климата, которое еще не наблюдалось в предшествующие десятилетия. В нем также указывалось, что в настоящее время нельзя принимать важные хозяйственные решения, основываясь только на представлениях о сохранении в будущем климатических условий недавнего прошлого. При решении проблем народного хозяйства на перспективу необходимо в обязательном порядке принимать во внимание материалы о климате будущего. Для этого следует провести оценку влияния предстоящих изменений климата на элементы водного баланса речных бассейнов и уровенный режим внутриматериковых водоемов.

Оценки Межправительственной группы экспертов (МГЭИК) показывают, что за последние 100 лет средняя годовая температура воздуха нашей планеты повысилась более чем на $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ [2, 3]. Исследования ученых показывают, что следует ожидать повышения глобальной температуры воздуха к 2005 г. примерно на $1\text{ }^\circ\text{C}$, к 2025 г. на $2\text{ }^\circ\text{C}$ и к 2050 г. – на $3 - 4\text{ }^\circ\text{C}$ по сравнению с ее значениями в доиндустриальный период (XIX век) [7]. Такое повышение температуры в перспективе может привести к увеличению речного стока в море и осадков выпадающих на его поверхность, а также испарения.

В современной климатологии оценка региональных изменений климата обычно производится двумя независимыми методами: путем подбора аналогов климатических условий более теплых эпох геологического прошлого нашей планеты и с помощью моделей общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Первый метод получил широкое распространение в Рос-

сийской Федерации [1], второй – в дальнем зарубежье: в Великобритании, Канаде и США [7]. Оба метода в значительной мере дополняют друг друга.

В данной работе для оценки возможных изменений уровня Каспийского моря использованы сценарии изменения климата, полученные с помощью моделей общей циркуляции атмосферы: CCC (Канадский климатический центр), GISS (Годдардовский Институт Космических исследований, США), UKMO (Метеорологическое Агентство Соединенного Королевства), GFDL, GFDL T (Геофизическая лаборатория динамики жидкости Принстонского Университета, США). Для расчета уровня моря на перспективу могут быть использованы характеристики изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в его бассейне, определенных с помощью этих моделей общей циркуляции атмосферы. Следует отметить, что указанные модели хорошо описывают внутригодовое распределение среднемесячных значений температуры воздуха и довольно плохо внутригодовое изменение месячных сумм осадков в условиях современного климата. При использовании указанных моделей также возможны значительные систематические ошибки, особенно при расчете атмосферных осадков. Поэтому, для устранения этих погрешностей, следует ориентироваться не на месячные, а на годовые величины моделированных значений температуры воздуха и атмосферных осадков, а также на значения их отклонений по отношению к результатам описания этих элементов для условий современного климата.

В табл. 1 приведены средние годовые значения температуры воздуха и атмосферных осадков в бассейне р. Волга для сценариев однократного содержания CO_2 в атмосфере (современный климат) и удвоения его содержания (антропогенное изменение климата), определенные с помощью моделей общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Они получены путем осреднения данных 30 метеорологических станций достаточно равномерно расположенным в бассейне. Кроме этого в таблице приведена разность температур воздуха и атмосферных осадков полученных в результате моделирования климата при удвоении содержания CO_2 и при однократном содержании этого газа в атмосфере. Результаты, приведенные в этой таблице показывают, что при удвоении CO_2 в атмосфере температура воздуха в бассейне р. Волга может увеличиться на $4,5^\circ\text{C}$ – $6,4^\circ\text{C}$, а атмосферные осадки на 81 – 196 мм.

Таблица 1

Результаты моделирования температуры воздуха и атмосферных осадков
(равновесные модели)

Сценарий	Модель			
	CCC	GISS	UKMO	GFDL
Температура воздуха, °C				
1×CO ₂	3,4	2,8	-4,1	1,1
2×CO ₂	8,9	7,3	2,3	6,6
Разность	5,5	4,5	6,4	5,5
Атмосферные осадки, мм				
1×CO ₂	860	601	647	413
2×CO ₂	98,7	797	822	494
Разность	127	196	175	81,2

В табл. 2 приведены аналогичные результаты расчета температуры воздуха и осадков в бассейне р. Волга путем использования трансидентных моделей. Они показывают, что через четыре, семь и десять десятилетий после начала повышения глобальной температуры ее значение в рассматриваемом бассейне соответственно увеличится на 1,2 °C; 2,8 °C и 4,6 °C, а атмосферные осадки – соответственно на 30 мм, 61 мм и 155 мм. Результаты расчета температуры воздуха и осадков по модели GFDL-T10 находятся в пределах их значений, полученных с помощью равновесных моделей.

Таблица 2

Результаты моделирования температуры воздуха и атмосферных осадков
(трансидентные модели)

Сценарий	Модель		
	GFDL-T4	GFDL-T7	GFDL-T10
Температура воздуха, °C			
1×CO ₂	2,4	2,4	2,4
1×CO ₁ ÷ 2×CO ₂	3,6	5,2	7,0
Разность	1,2	2,8	4,6
Атмосферные осадки, мм			
1×CO ₂	657	657	657
1×CO ₁ ÷ 2×CO ₂	687	718	812
Разность	30,1	61,4	155

Определение стока в Каспийское море

Располагая данными об изменении месячных и годовых значений температуры воздуха и атмосферных осадков необходимо определить изменение стока в бассейне Каспийского моря при потеплении климата нашей планеты. Для этого может быть использован комплексный метод расчета испаряемости и испарения с поверхности суши, разработанный Будыко М.И., с помощью которого также могут быть определены влагосодержание почвы и сток [4]. Этот метод позволяет рассчитать все основные составляющие теплового и водного баланса путем использования широко распространенной метеорологической информации. В работе Борзенковой И.И. [2] этот метод успешно применен для оценки изменений основных составляющих водного баланса р. Волга при глобальном потеплении климата, параметры которого были определены путем использования палеоклиматической информации. Значения этих составляющих водного баланса рассчитаны ею по данным 30 метеорологических станций, расположенным в бассейне реки Волги. В результате Борзенковой И.И. [2] были получены характеристики, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Изменения температуры воздуха и элементов водного баланса в бассейне р. Волга при потеплении климата

Наименование изменений	Изменения температуры воздуха и элементов водного баланса		
Температура воздуха ΔT , °C	1	2	3,8
Атмосферные осадки ΔP , мм/год	2,3	102	85
Суммарное испарение ΔE , мм/год	2,3	67	34
Общий сток ΔR , мм/год	0	35	51

Модель водного баланса бассейна р. Волга, разработанная ею, может быть использована и при других параметрах изменения температуры воздуха и атмосферных осадков. Эти параметры могут быть получены с помощью указанных выше моделей общей циркуляции атмосферы. Для решения этой задачи путем использования данных табл. 3 были рассчитаны относительные характеристики, приведенные в табл. 4.

Результаты, приведенные в табл. 3 и 4, позволили адаптировать рассматриваемую модель в виде уравнения для расчета отклонений годового испарения в бассейне р. Волга при антропогенном изменении климата от его значений при современных условиях в зависимости от изменений годовой температуры воздуха и годовых сумм осадков в ее бассейне:

$$\Delta E = \Delta T [A_1 (\Delta P / \Delta T)^m + B_1], \quad (2)$$

где $A_1 = 0,0208$; $B_1 = 2,2$; $m = 1,8608$ – эмпирические параметры.

Таблица 4

Изменения температуры воздуха, атмосферных осадков, испарения и стока в бассейне р. Волга при потеплении климата

Наименование изменений	Изменения температуры воздуха и характеристик водного баланса		
Температура воздуха ΔT , °C	1	2	3,8
Отношение $\Delta P / \Delta T$, мм/°C	2,3	51	22,4
Отношение $\Delta E / \Delta T$, мм/°C	2,3	33,5	8,95
Коэффициент стока $\Delta R / \Delta P$	0	0,343	0,660

С помощью выражения (2) можно увязать все составляющие водного баланса и их характеристики, приведенные в табл. 3 и 4. Как известно, из уравнения водного баланса за многолетний период:

$$\Delta R = \Delta P - \Delta E, \quad (3)$$

подставив (2) в (3) получим:

$$\Delta R = \Delta P - \Delta T [A_1 (\Delta P / \Delta T)^m + B_1]. \quad (4)$$

Изменение объема стока р. Волга, как известно, может быть определено с помощью выражения:

$$\Delta W_v = \Delta R S 10^{-6}, \quad (5)$$

где ΔW_v – изменение стока р. Волга км³/год; S – площадь водосбора р. Волга, равная 1 360 000 км².

Изменение суммарного речного стока в Каспийское море будет равно:

$$\Delta W = K \Delta R S 10^{-6}, \quad (6)$$

где ΔW – суммарный речной сток в Каспийское море км³/год; $K = 1,25$ при условии, что среднемноголетнее значение стока р. Волга составляет около 80% от суммарного речного стока в Каспийское море.

В табл. 5 приведены результаты расчета изменения стока в Каспийское море при потеплении климата, обусловленном удвоением CO₂ в атмосфере, характеристики которого ΔT и ΔP для бассейна р. Волга рассчитаны с помощью равновесных моделей (первая и вторая строка). В третьей строке помещены значения изменения количества осадков на единицу изменения температуры $\Delta P / \Delta T$ в рассматриваемом бассейне.

Изменение стока в Каспийское море при потеплении климата

Изменения	Равновесные модели			
	CCC	GISS	UKMO	GFDLR-30
При удвоении содержания CO ₂ в атмосфере				
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	5,5	4,5	6,4	5,5
$\Delta P, \text{мм}$	127	196	175	81,2
$\Delta P/\Delta T, \text{мм}/^\circ\text{C}$	23,1	143,6	27,3	14,8
$\Delta E, \text{мм}$	51,5	115	76,7	29,3
$\Delta R, \text{мм}$	75,5	81,0	98,3	51,9
$\Delta W_v, \text{км}^3/\text{год}$	103	110	133	70,6
$\Delta W, \text{км}^3/\text{год}$	128	138	167	88,2

В четвертой строке таблицы приведены результаты расчета по выражению (2) изменения испарения в этом же бассейне. В строках пять, шесть и семь помещены результаты расчета с помощью выражений (3), (5) и (6) изменения слоя и объема стока р. Волга, а также изменение объема речного стока в Каспийское море. Полученные результаты показывают, что изменение стока в бассейне Каспия при изменении климата, обусловленного изменением CO₂ в атмосфере при расчете с помощью равновесных моделей составляет: 128 км³ в год (CCC), 138 км³ в год (GISS), 167 км³ в год (UKMO) и 88,2 км³ в год (GFDL). Таким образом, наименьшее значение изменения стока в рассматриваемых условиях получены по модели GFDL, а наибольшие – по модели UKMO. Следует отметить, что приведенные данные хорошо согласуются с результатами исследований, выполненных в ГГИ [3].

В табл. 6 приведены результаты аналогичных расчетов по трансientным моделям, характеризующим изменение температуры воздуха, соответственно, через четыре, семь и десять десятилетий после начала ее повышения [8]. Авторы модели GFDL-T условно полагали, что повышение глобальной температуры воздуха начнется после 1960 г. В этом случае изменение температуры воздуха и атмосферных осадков, рассчитанных по модели GFDL-T4, следует относить к 2000 г., по модели GFDL-T7 – к 2030 г. и по модели GFDL-T10 – 2060 г. [7].

Изменение стока в Каспийское море при потеплении климата

Изменения	Трансиентные модели		
	GFDL-T4	GFDL-T7	GFDL-T10
$\Delta T, ^\circ\text{C}$	1,2	2,8	4,6
$\Delta P, \text{мм}$	30,1	61,4	155
$\Delta P/\Delta T, \text{мм}/^\circ\text{C}$	25,1	21,9	33,7
$\Delta E, \text{мм}$	12,7	24,3	76,7
$\Delta R, \text{мм}$	17,4	37,1	78,3
$\Delta W_v, \text{км}^3/\text{год}$	23,7	50,5	106
$\Delta W, \text{км}^3/\text{год}$	29,6	63,5	133

Результаты, помещенные в этой таблице, показывают, что при увеличении температуры воздуха на $1,2^\circ\text{C}$ сток в Каспийское море увеличится почти на 30 км^3 в год, при увеличении температуры на $2,8^\circ\text{C}$ – на 64 км^3 в год и при увеличении температуры на $4,6^\circ\text{C}$ – на 133 км^3 в год. Это означает, что при повышении глобальной температуры воздуха примерно на 1°C , которое ожидается в начале XXI века, сток в Каспийское море может увеличиться на 30 км^3 в год и полностью компенсировать современное водопотребление в бассейне моря. При дальнейшем повышении температуры воздуха сток в море будет увеличиваться. Результаты расчета стока по трансиентной модели GFDL-T10 практически совпадают с данными, полученными по равновесным моделям.

Определение осадков и испарения

Следующим вопросом, который необходимо решить, является определение изменений атмосферных осадков, выпадающих на поверхность моря и испарения с его акватории при антропогенном изменении климата. Среднее многолетнее значение температуры воздуха и атмосферных осадков по метеорологическим станциям Баку, Махачкала, Туркменбаши (Красноводск) и Форт Шевченко за период 1951 – 1980 гг., принимаемые для характеристики современного климата, составляют соответственно $13,3^\circ\text{C}$ и 230 мм .

Осадки в пределах акватории моря изменяются незначительно от $4 \dots 8 \text{ мм}$ по моделям CCC, UKMO и GFDL R30 до 52 мм по модели GISS.

Для оценки изменения испарения с поверхности Каспийского моря при увеличении температуры воздуха может быть использовано выражение, полученное Смирновой К.И. [6]:

$$E_a = 12(K_1 T_a + C_1), \quad (7)$$

где E_a – среднее годовое испарение, мм/год; T_a – средняя годовая (по указанным выше 4 метеорологическим станциям) температура воздуха, °C; $K_1 = 4,07$ и $C_1 = 30$ – эмпирические параметры.

Коэффициент корреляции этой зависимости равен 0,92.

Выражение (7) позволяет записать уравнение для определения изменения испарения в зависимости от изменения температуры воздуха:

$$\Delta E_a = 12K_1 \Delta T_a, \quad (8)$$

где ΔE_a – изменение среднего годового испарения, мм/год; ΔT_a – изменение средней годовой температуры воздуха в пределах акватории моря, °C.

Далее, располагая данными об изменении осадков и испарения в пределах акватории моря можно получить характеристику изменения эффективного испарения $\Delta E_a - \Delta P_a$ по результатам использования модели общей циркуляции атмосферы. Прибавив к этой величине среднее многолетнее значение эффективного испарения для современного климата $E_a - P_a$, определенное из уравнения водного баланса моря за 1556 – 1998 гг. и равное 734 мм, можно определить величину возможного эффективного испарения при антропогенном изменении климата.

Средние характеристики изменения годовых значений температуры воздуха ΔT_a и атмосферных осадков ΔP_a по указанным метеорологическим станциям, определенные по равновесным моделям CCC, GISS, UKMO, GFDL R30 приведены в табл. 7, а по трансидентным моделям GFDL-T4, GFDL-T7 и GFDL-T10 - в табл. 8.

Эти данные показывают, что при удвоении содержания CO_2 в атмосфере температура воздуха по результатам равновесных моделей может увеличиться на 3,7°C – 3,9°C, т.е. в среднем для указанных моделей на 4,3°C. Это на 1,2°C ниже, чем по бассейну р. Волга, и хорошо согласуется с существующими представлениями об изменении температуры воздуха в различных широтах при антропогенном изменении климата.

Как известно, при потеплении климата температура воздуха увеличивается в высоких широтах больше, чем в низких. В табл. 7 приведены результаты определения эффективного испарения с поверхности Каспийского моря по равновесным моделям при потеплении климата обуслов-

ленном удвоении концентрации CO_2 в атмосфере. Данные этой таблицы показывают, что при глобальном потеплении климата эффективное испарение может повыситься на 150 – 250 мм/год.

Таблица 7

Изменение эффективного испарения с поверхности Каспийского моря при потеплении климата

Изменения	Равновесные модели			
	CCC	GISS	UKMO	GFDLR-30
При удвоении содержания CO_2 в атмосфере				
$\Delta T_a, ^\circ\text{C}$	3,7	4,3	4,9	4,2
$\Delta E_a, \text{мм}$	180	210	239	205
$\Delta P_a, \text{мм}$	-7	52	-4	-8
$(\Delta E_a - \Delta P_a), \text{мм}$	187	158	243	213
$(E_a - P_a), \text{мм}$	921	892	977	947

В табл. 8 приведены аналогичные результаты по трансientным моделям.

Таблица 8

Изменение эффективного испарения с поверхности Каспийского моря при потеплении климата

Изменения	Трансientные модели		
	GFDL-T4	GFDL-T7	GFDL-T10
$\Delta T_a, ^\circ\text{C}$	1,4	2,9	4,8
$\Delta E_a, \text{мм}$	68	141	234
$\Delta P_a, \text{мм}$	25	21	3
$(\Delta E_a - \Delta P_a), \text{мм}$	43	120	231
$(E_a - P_a), \text{мм}$	777	854	865

Эти данные показывают, что при глобальном потеплении климата, обусловленном удвоенным содержанием CO_2 в атмосфере, эффективное испарение может увеличиться на 40... 120 мм и более.

Изменение уровня Каспийского моря

Результаты определения изменения стока в Каспийское море (табл. 5 и 6) и эффективного испарения с его поверхности (табл. 7 и 8) при антропогенном изменении климата были использованы для моделирования уровня моря за период 1556 – 1998 гг. В процессе моделирования к сред-

ним многолетним значениям речного стока в море (321 км³ в год) и эффективного испарения (734 мм) в естественных условиях прибавлялись величины их изменений приведенных в табл. 5, 6 и табл. 7, 8. При моделировании уровня моря модульные коэффициенты речного стока и испарения, равные отношениям их значений за отдельные годы к их средне-многолетнему значению, принимались такими же, как и для естественных условий.

В результате обработки моделированных рядов уровня моря Z длительностью 443 года были получены их статистические характеристики: среднемноголетнее значение Z_{cp} , среднеквадратическое отклонение σ_n и коэффициент вариации $C_v = \sigma_n / Z_{cp}$. Коэффициент асимметрии C_s определялся путем построения и анализа эмпирических и теоретических кривых обеспеченности и был принят равным 0. Полученные статистические характеристики моделированных рядов уровней позволили также рассчитать их значения определенной обеспеченности: 0,1 %; 0,5 %; 1 %; 2 % и 5 %. Результаты расчета указанных параметров и уровней различной обеспеченности приведены в табл. 9 и 10.

Таблица 9

Характеристики уровня Каспийского моря при отсутствии водопотребления в его бассейне

Модель	Средний уровень	Коэффициент вариации	Обеспеченность, %			
			0,1	1	2	5
Современный климат - 1×CO ₂						
XVI-XX вв.	-25,85	-0,046	-22,18	-23,08	-23,41	-23,90
Равновесные модели - 2×CO ₂						
CCC	-22,37	-0,069	-17,60	-18,77	-19,21	-19,84
GISS	-20,48	-0,086	-15,04	-16,38	-16,87	-17,59
UKMO	-21,39	-0,079	-16,17	-17,45	-17,93	-18,62
GFDL	-25,77	-0,051	-21,71	-22,71	-23,08	-23,61
Трансиентные модели						
GFDL-T4	-24,93	-0,051	-21,00	-21,97	-22,32	-22,84
GFDL-T7	-24,81	-0,054	-20,67	-21,69	-22,06	-22,61
GFDL-T10	-19,64	-0,093	-14,00	-15,38	-15,90	-16,64

В табл. 9 приведены статистические характеристики уровня Каспийского моря при отсутствии водопотребления в его бассейне в современных условиях и для равновесных моделей при удвоении концентрации

CO₂ в атмосфере. Сопоставление характеристик уровня моря 0,1 % - ой обеспеченности при отсутствии водопотребления для современного климата (первая строка) и при его изменении показывает, что при удвоении концентрации CO₂ в атмосфере характеристики уровня могут увеличиться: при расчете по модели CCC – на 4,6 м, по модели GISS – на 7,1 м, по модели UKMO – на 6,0 м и только по модели GFDL – примерно на 5,0 м.

В той же таблице приведены статистические характеристики уровня Каспия при отсутствии водопотребления в его бассейне для естественных условий и для указанных выше неравновесных моделей при изменении концентрации CO₂ в атмосфере. Сопоставление характеристик уровня моря 0,1 % - ой обеспеченности при отсутствии водопотребления в его бассейне для современного климата (первая строка) и при его изменении показывает, что при изменении концентрации CO₂ в атмосфере характеристики уровня могут увеличиться при расчете по модели GFDL-T4 на 1,2 м; по модели GFDL-T7 на 1,5 м и по модели GFDL-T10 на 8,2м.

Заключение

Полученные результаты показывают, что в естественных условиях, т.е. при отсутствии водопотребления в бассейне моря его уровень при изменении климата, обусловленного удвоением концентрации CO₂ в атмосфере, может повыситься на 4 – 7 м, т.е. до отметок минус 18 – минус 15 м.

Безвозвратное водопотребление в бассейне моря по данным Государственного гидрологического института (ГГИ) Российской Федерации к концу 80-х годов текущего столетия достигло 40 км³ в год [7]. Затем к середине 90-х годов оно снизилось примерно до 30 км³ в год в связи с деградацией промышленности и сельского хозяйства в бассейне моря. По оценке ГГИ оно останется на этом уровне примерно до 2000 г., а затем начнет медленно повышаться и к 2020 г. составит 40 км³ в год, т.е. опять возвратится на уровень конца 80-х годов XX столетия. На основании этих оценок среднее водопотребление на первую половину XXI века было принято равным 40 км³ в год.

В табл. 10 приведены статистические характеристики Каспийского моря при водопотреблении 40 км³ в год для условий современного климата и для равновесных моделей современного климата при удвоении концентрации CO₂ в атмосфере.

Сопоставление характеристик уровня моря 0,1 % - ой обеспеченности при водопотреблении 40 км^3 в год для современного климата (первая строка) и при его изменении показывает, что при удвоении концентрации CO_2 в атмосфере характеристики уровня могут увеличиться: при расчете по модели CCC – на 4,7 м, по модели GISS – на 6,4 м, по модели UKMO – на 5,9 м и по модели GFDL – на 1,0 м.

В этой же таблице приведены статистические характеристики уровня Каспия при водопотреблении 40 км^3 в год в его бассейне для естественных условий и для указанных выше неравновесных моделей при изменении концентрации CO_2 в атмосфере.

Таблица 10

Характеристики уровня Каспийского моря при водопотреблении в его бассейне равном 40 км^3 в год

Модель	Средний уровень	Кoeffициент вариации	Обеспеченность, %			
			0,1	1	2	5
Современный климат - $1 \times \text{CO}_2$						
XVI-XX вв.	-28,44	-0,036	-25,28	-26,05	-26,34	-26,76
Равновесные модели - $2 \times \text{CO}_2$						
CCC	-25,10	-0,058	-20,60	-21,71	-22,12	-22,71
GISS	-23,59	-0,065	-18,85	-20,02	-20,45	-21,08
UKMO	-24,14	-0,064	-19,37	-20,54	-20,97	-21,61
GFDL	-28,00	-0,043	-24,28	-25,19	-25,53	-26,03
Трансиентные модели						
GFDL-T4	-27,68	-0,041	-24,17	-25,04	-25,35	-25,82
GFDL-T7	-27,41	-0,044	-23,68	-24,60	-24,94	-25,43
GFDL-T10	-23,08	-0,067	-18,30	-19,48	-19,91	-20,54

Сопоставление характеристик уровня моря 0,1 % - ой обеспеченности при водопотреблении 40 км^3 в год в его бассейне для современного климата (первая строка) и при его антропогенном изменении показывает, что при повышении концентрации CO_2 в атмосфере характеристики уровня могут увеличиться при расчете по модели GFDL-T4 на 1,1 м; по модели GFDL-T7 на 1,6 м и по модели GFDL-T10 на 7,0 м.

Результаты выполненных расчетов показали, что при изменении климата, обусловленного удвоением концентрации углекислого газа в атмосфере, которое ожидается в середине XXI века, уровень моря может

увеличиться на 5 м по отношению к современному его значению (минус 27 м) и достигнуть отметки минус 22 м, наблюдавшейся в конце XVIII начале XIX века. В этих условиях вероятность достижения уровня моря отметки минус 25 м, являющейся предельной для современного климата и достигнутого объема безвозвратного водопотребления в его бассейне будет постепенно увеличиваться. Это приведет в первой половине XXI века к увеличению вероятности катастрофического затопления прибрежной зоны Каспийского моря в пределах Республики Казахстан и других прикаспийских государств.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Нидерландской Программы исследований изменения климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенные изменения климата/ Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля.- Л.: Гидрометеиздат, 1987. - 407 с.
2. Борзенкова И.И. Влияние возможных изменений климата на осадки, испарение и сток в бассейне р. Волга. Сб. «Анализ изменений уровня Каспийского моря технико – экономического доклада по защите народно – хозяйственных объектов и населенных пунктов прибрежной полосы Каспийского моря в пределах Дагестана, Калмыкии и Астраханской области». (Приложение 5). - М.: 1992. – С. 494 - 537.
3. Будыко М.И., Ефимова И.А., Лобанов В.В. Будущий уровень Каспийского моря // Метеорология и гидрология. - 1988. - № 5. - С. 86 - 94.
4. Георгиевский В.Ю., Ежов А.В., Шалыгин А.Л. и др. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. - 1996. - № 11. - С. 89 - 99.
5. Голубцов В.В., Ли В.И. О расчете уровней Каспийского моря на перспективу с учетом возможных изменений климата // Гидрометеорология и экология. - 1995. - № 1. - С. 28-38.
6. Смирнова К.И. Водный баланс и долгосрочный прогноз уровня Каспийского моря. - Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 123 с.
7. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 333 с.
8. Pilifosova O., Eserkepova I., Dolgih S. Regional climate change scenarios under global warming in Kazakhstan. Climatic Change 36, Kluwver Academic Publishers. Printed in the Nitherlands, 1997.- P. 23-40.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

КЛИМАТТЫҢ АНТРОПОГЕНДІК ӨЗГЕРУІНІҢ КАСПИЙ ТЕҢІЗІНІҢ ДЕҢГЕЙІНЕ ӘСЕРІ

Геогр. ғылымдарының канд.
Техн. ғылымдарының канд.
Геогр. ғылымдарының канд.

В.В. Голубцов
В.И. Ли
В.П. Попова

XXI ғасырдың бірінші жартысындағы климаттың антропогендік өзгеруі жағдайындағы Волга өз. ағысы мен Каспий теңізінің деңгейінің сипаттамалары қарастырылған. Ауа температурасы мен атмосфералық жауын-шашындардың болуы мүмкін өзгеруін бағалау үшін атмосфера жалпы айналымының тепе-теңдік және трансидентті үлгілері қолданылды. XXI ғасырдың орта шешінде күтіліп отырған климаттың өзгеруі жағдайында теңіз деңгейі оның қазіргі мағынасына (минус 27 м) қарағанда 5 м өсіп, XIX ғасырдың басында байқалған минус 22 м деңгейіне жету мүмкін екендігі көрсетілген.

УДК 551.324.63

ОЛЕДЕНЕНИЯ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ

Доктор геогр. наук Б.С. Степанов

Канд. геогр. наук Р.К. Яфязова

В статье приведены различные гипотезы об оледенениях Заилийского Алатау. Использование данных об изменении глобального климата, влияние его изменения на селевую активность, знание механизма переноса наносов из высокогорной зоны на предгорную равнину позволило обосновать масштабы оледенений этого района.

Основные геологические структуры Северного Тянь-Шаня заложены в ходе резкой активизации тектонических движений в эоплейстоцене. Восходящие движения привели к формированию горного рельефа с высотами, превышающими 2000 м [6]. Тем самым, были созданы предпосылки (тектонический и геоморфологический факторы) для формирования горного оледенения в условиях континентального климата средних широт в плейстоцене.

Геоморфологические и геологические исследования в Альпах и прилегающих к ним районах позволили А. Пенку и Э. Брюкнеру выделить четыре эпохи оледенений в плейстоцене: гонц, миндель, рисс и вюрм [17]. Хронологическая схема А. Пенка и Э. Брюкнера впоследствии была детализирована Б. Эберлем [16]. К четырем основным эпохам оледенения добавилась пятая, более ранняя эпоха - дунайская. Была также произведена детализация этой хронологической схемы, согласно которой ледниковые эпохи подразделялись на стадии. Дальнейшие исследования позволили значительно расширить представления о климате ледниковых эпох и межледниковий.

Единого мнения о количестве оледенений Заилийского Алатау не существует. С.Е. Дмитриев, К.И. Богданович, В.П. Голоскоков придерживались гипотезы о двукратном оледенении Заилийского Алатау [1].

В.М. Чупахин [11] считал "...вполне доказанным, что в Тянь-Шане были две самостоятельные эпохи оледенения, разделенные периодом значительной продолжительности... . Первая эпоха... приходится на конец третичного периода. Это оледенение можно считать максимальным, так как соответствующая ему морена обнаруживается в предгорьях многих горных хребтов Тянь-Шаня. Вторая эпоха древнего оледенения приурочена к среднему или позднечетвертичному времени.... С первой эпохой - (максимальное оледенение) было связано накопление грубообломочного

несортированного материала ... мощность их - от 50 до 100. . . 200 м. Они залегают на свите палево-бурых глин и мелкогалечных конгломератов плиоцена, а иногда на эродированной поверхности палеозойского фундамента. Морена максимального оледенения хорошо сохранилась в северных предгорьях Заилийского Алатау, в долине р. Малая Алматинка.

...Морены последнего оледенения (второго) развиты в днищах древних трогов... Так, морена последнего оледенения встречается на высоте 1800 м ниже устья р. Горельник...".

По мнению С.Ф. Машковцева, Н.Г. Кассина, Н.Н. Костенко [1], Г.Ц. Медоева [7], Д.Н. Казанли [6] и др. северный склон Заилийского Алатау пережил трехкратное оледенение. М.Ж. Жандаев придерживался также гипотезы о трехкратном оледенении [3,4].

М.И. Ломонович выдвинул гипотезу о четырехкратном оледенении Заилийского Алатау в плейстоцене "...первое - покровное, второе - полупокровное и два - долинных". Какая из упомянутых выше гипотез верна, можно установить путем стратиграфического расчленения четвертичных отложений на основе широкого комплекса критериев или принципов. Однако, как отмечал еще М.И. Ломонович [5], использование "палеонтологического принципа" и "микробиологического критерия" невозможно из-за непреодолимых трудностей, такое положение сохранилось и до настоящего времени. Археологические находки относятся к историческому времени и поэтому для стратиграфии описываемого района не имеют существенного значения.

Реальной основой стратиграфического расчленения может служить структурно-геоморфологический анализ, опирающийся на крупные геологические события, в совокупности с новейшими данными об изменении глобального климата Земли в четвертичном периоде. Следствием таких событий являются морены, террасы речных долин, конусы выноса.

По М.И. Ломоновичу "...первый ледниковый или древнейший ледниковый (гюнц ?) ..." период имел место, когда рельеф представлял собой "...выровненный, горный пенеппен (плоскогорье)...", оледенение носило покровный характер. "...Аккумуляция моренных отложений..." происходила "... в долинах древней ориентировки (близкой к широтной) и на водоразделах (остатки хр. Карач, южнее ур. Ушконур и на других горных междуречьях". Эти отложения представлены мощной толщей (до 200 м) валунно-галечников и конгломератов с линзами глин и слагают, по мнению М.И. Ломоновича, основание верхней предгорной ступени [5].

Климат гюнца на территории Заилийского Алатау, если мнение большинства геологов о том, что поднятие пенеппенизированной поверхности составило к тому времени 2000. . . 2500 м, с большой степенью вероятности мог привести к ее оледенению. В отсутствие (по М.И. Ломоновичу) долин меридионального простиранья оно могло носить покровный характер. Ледниковый покров, достигнув определенной мощности, дол-

жен был стекать в сторону предгорной равнины, формируя моренные отложения.

Однако с гипотезами М.И. Ломоновича о том, что отложения, слагающие основание верхней предгорной ступени, имеют моренное происхождение и М.Ж. Жандаева "... в нижнем антропогене оледенение гор носило полупокровный характер, ледники спускались почти до самого подножья гор. Морены этого оледенения обычно имеют сплошное распространение и чаще всего выполняют пологие понижения до антропогенного рельефа..." [3] трудно согласиться. В период гюнца верхняя предгорная ступень еще не существовала, и те отложения, которые отождествлялись упомянутыми исследователями с моренными, накапливались на высотных отметках, близких к 500-600 м. Могли ли ледники гюнца опускаться до таких отметок? Маловероятно.

Высотное положение отложений, которые М.И. Ломонович и М.Ж. Жандаев идентифицируют с моренными, данные о климате гюнца, полученные при изучении океанических отложений, позволяют утверждать, что валунно-галечники, слагающие ныне верхнюю предгорную ступень, не морены покровного оледенения. Если бы это были моренные отложения покровного оледенения, их гранулометрический состав по крайней мере в центральной части хребта не зависел от положения относительно существующих в настоящее время долин основных рек. В действительности отложения в междуречьях содержат значительно меньше крупных фракций, чем отложения, приуроченные к выходу рек из горных долин на предгорную равнину. Ярко выраженная слоистость отложений указывает на то, что они вряд ли являются отложениями и полупокровного оледенения. Вероятнее всего, это древние конусы выноса селевого генезиса. Из чего можно сделать вывод: к периоду времени, соответствующему гюнцскому оледенению, в Заилийском Алатау уже сформировались гидрографическая сеть, незначительно отличающаяся от современной.

Гюнц-миндельский межледниковый период, климат которого был холоднее на 1... 2 °С современного, сменился новым оледенением. Климат минделя был более теплым по сравнению с климатом гюнца [8]. На этот период пришлась бакинская [5] тектоническая фаза, приведшая к дальнейшему подъему хребта, что способствовало формированию ледников.

О масштабах оледенения Заилийского Алатау в период, соответствующий миндельскому оледенению Альп, достоверных фактических данных не имеется. М.И. Ломонович считал, что оно носило полупокровный характер со "спускающимися языками". В то же время происходило "...интенсивное накопление мощной (до 150 м) толщи флювиогляциальных валунно-галечников и конгломератов, образующих сплошной шлейф у подножья хребта и слагающих верхний ярус нынешней предгорной ступени".

Данные о климате минделя [8] позволяют утверждать, что и в обсуждаемом времени преобладал горно-долинный тип оледенения. Во время миндельского оледенения формировались мощные моренные комплексы, которые в период миндель-рисского межледниковья были разрушены и вынесены селями на предгорную равнину. Конусы выноса, формировавшиеся в периоды гюнц-миндельского и миндель-рисского межледниковий, составляют около 50 % объемов конусов выноса, существующих в настоящее время.

В отличие от гюнцского и миндельского, рисское и вюрмское оледенения оставили весомые свидетельства об их масштабах. Однако отсутствие абсолютных определений возраста отложений долгое время не позволяло идентифицировать моренные комплексы, в той или иной мере сохранившиеся в долинах северного склона Заилийского Алатау.

В.А. Герасимов в работе [1] отмечал, что "собранный нами материал по древнему оледенению Заилийского Алатау определенно позволяет подтвердить здесь следы пока двух эпох оледенения, разделенных длительным межледниковым перерывом. Во всех посещенных нами долинах широко представлены формы и аккумулятивные накопления последнего оледенения с его стадиями отступления. Ледники этой эпохи опускались до высот 1700. . . 2300 м..."

Ко второй стадии "последнего оледенения" В.А. Герасимов относит морены, расположенные в интервале высот 2200. . . 2400 м. Морены третьей стадии по В.А. Герасимову расположены на высотах 2500. . . 3100 м. Все эти стадии он относил, судя по всему, к вюрмскому оледенению, так как в цитируемой работе более раннему оледенению уделено несколько абзацев, в частности: "...что касается следов максимального (рисского) оледенения на северном склоне Заилийского Алатау, то они представлены главным образом скульптурными формами в виде остатков днищ древних трогов (запечики) на высоте 200. . . 300 м... В верховьях долин им соответствуют перегибы на склонах цирков, где они образуют верхний ярус цирков..."

Можно считать общепризнанным, что рисское оледенение Альп имело большие масштабы, нежели вюрмское. Однако представления различных авторов о характере и масштабе оледенений горных стран Евразийского континента существенно отличаются. Величина депрессии снеговой линии в период вюрмского оледенения может отличаться практически в два раза, столь же велика разница в положении концов ледников. В качестве примера на рис. 1 и 2 приведены схемы вюрмского оледенения Прииссыкульского района Тянь-Шаня, принадлежащие различным авторам [2]. По нашему мнению, значительные отличия в оценке характеристик оледенений вюрма в горных странах Азии обусловлены погрешностями в определении возраста моренных отложений, каров и других следов оледенений, а также тем обстоятельством, что селевые отложения подчас принимают за моренные. Из сказанного следует, что анализ лите-

ратурных источников не позволяет однозначно оценить характер оледенений в среднем и верхнем плейстоцене.

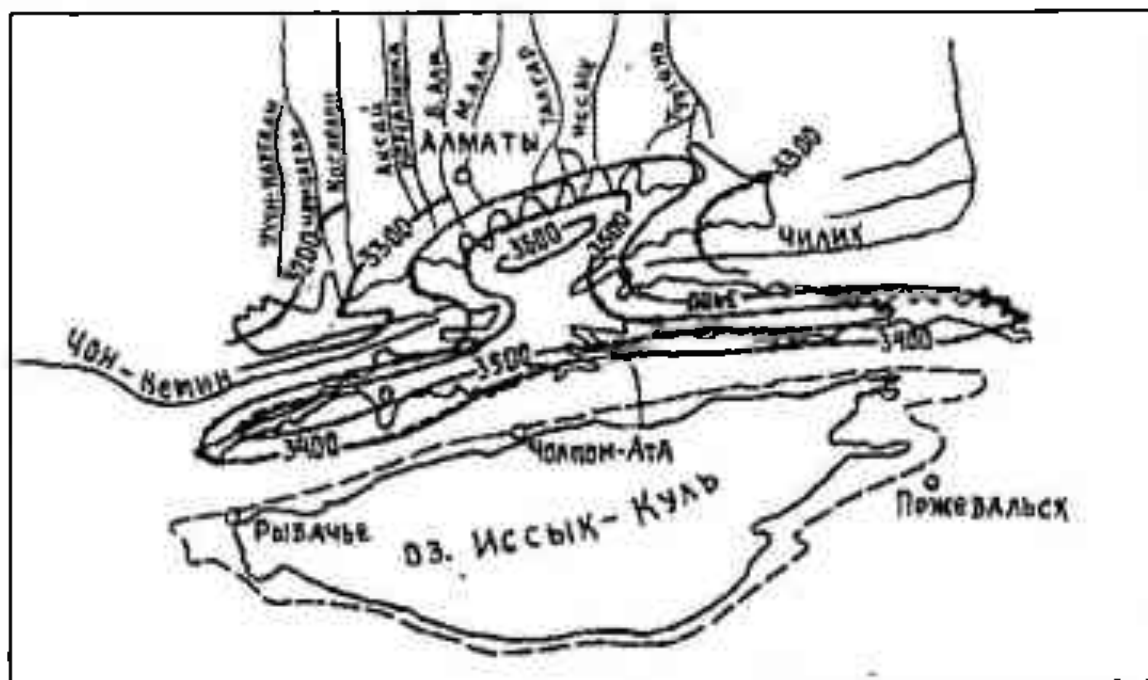


Рис. 1. Вюрмское оледенение Заилийского и Кунгей Алатау [2].



Рис. 2. Вюрмское оледенение Прииссыкуля [2]. 1 - современное оледенение; 2 - Вюрмское оледенение; 3 - ледниково-маргинальные ramпы; 4 - эрозионная долина прорыва (Боомское ущелье); 5 - уровень максимальных поднятий Иссык-Куля в вюрме; 6 - размытая морена на берегу озера (остаточный валунник); 7 - пункт взятия образцов для определения возраста по ^{14}C устья руч. Кокпак-Кыркоо

Успехи, достигнутые за последнее десятилетие в изучении изменения глобального климата, механизмов переноса наносов из высокогорной зоны на предгорную равнину, формирования аллювиальных и пролюви-

альных конусов выноса, а также влияния изменения климата на селевую активность позволили внести ясность в продолжающуюся до настоящего времени дискуссию о масштабах оледенений Заилийского Алатау в периоды времени, соответствующие рисскому и вюрмскому оледенениям Альп.

К результатам научных исследований, позволившим сделать важный шаг в изучении истории оледенений Заилийского Алатау, можно отнести:

- установление главенствующей роли селей в переносе наносов из высокогорной зоны на предгорную равнину [12];
- доказательство пролювиального (селевого) генезиса конусов выноса, замыкающих горные долины основных рек северного склона Заилийского Алатау [13];
- установление закономерностей формирования и оценку объемов упомянутых выше конусов выноса [10];
- данные об объемах выноса наносов в рисс-вюрмское межледниковье [14];
- данные об объемах выноса наносов в голоцене [14];
- данные о зависимости селевой активности от глобального климата [15].

Рассмотрим (оценим) масштабы оледенений среднего и верхнего плейстоцена, а также голоцена на примере бассейна р. Малая Алматинка. В бассейне р. Малая Алматинка, как и практически во всех других крупных речных бассейнах северного склона Заилийского Алатау, имеются морены, по меньшей мере, четырех генераций.

Наиболее крупные морены, большая часть которых сильно разрушена, заканчиваются в высотном интервале 1600...1800 м. Морены, заканчивающиеся в интервале высот 2700...3000 м, очень хорошо сохранились. Морены, голоценовый возраст которых никем не оспаривается, заканчиваются на высотах 3100...3400 м. Четвертая генерация - морены расположенные под современными долинными ледниками.

Прежде чем приступить к оценке возраста этих морен, приведем некоторые сведения о селевой активности на северном склоне Заилийского Алатау в зависимости от изменения глобального климата:

- максимум селевой активности в плейстоцене имел место в период максимума потепления в рисс-вюрмском межледниковье;
- селевая активность снижалась до нуля в периоды оледенений, конусы выноса в этот период перекрывались мощными лессовыми толщами (первые десятки метров);
- селевая активность в голоцене составляла первые проценты (по объему выноса наносов на конусы выноса) от активности рисс-вюрмского межледниковья.

Решающая роль климата в селевой активности на северном склоне Заилийского Алатау объясняется тем, что подавляющую часть наносов, аккумулирующихся на конусах выноса, составляют отложения селей гля-

циального и дождевого генезисов. Причиной гляциальных селей являются катастрофические прорывы озер и емкостей моренно-ледниковых комплексов. Как озера, так и внутриледниковые и внутриморенные емкости образуются только в ходе относительно медленного отступания ледников. Такие периоды составляют лишь незначительную часть ледниковых циклов, поэтому главенствующую роль в выносе наносов из верхнего яруса накопления принадлежит селям дождевого генезиса.

Геологическое и геоморфологическое строение Заилийского Алатау таково, что стартовые зоны (зоны зарождения) селей дождевого генезиса находятся в высотном интервале 3000. . . 3800 м. В условиях современного климата ливневые осадки с интенсивностями и слоями, достаточными для формирования селей, выпадают ежегодно, однако в виде дождей они выпадают один раз лишь в несколько десятилетий. Выпадение ливней в виде града, крупы или снега не приводят к селеобразованиям из-за низкой скорости таяния твердых осадков. Последний раз мощный сель дождевого генезиса в бассейне р. Малая Алматинка образовался в 1921 г. Даже увеличение глобальной температуры примерно на 1 °С в климатическом оптимуме голоцена не привело к заметной активизации селей. Вследствие этого за весь голоцен на конусе р. Малая Алматинка отложилось лишь 2,5. . . 3 млн м³.

Резкое увеличение селевой активности имело место в рисс-вюрмском межледниковье, когда температура была выше современной на 2-3 °С. Как показало изучение конуса выноса р. Аксай [9], в период рисс-вюрмского межледниковья его объем увеличился примерно на 1 млрд м³. Бассейн р. Малая Алматинка по площади, другим селеформирующим факторам близок к бассейну р. Аксай. Это позволяет с большой степенью достоверности утверждать, что и на конус выноса р. Малая Алматинка за период рисс-вюрмского межледниковья было вынесено около 1 млрд м³ наносов.

Оценка объема рыхлообломочного материала, вынесенного из морены, заканчивающейся несколько выше урочища Медеу (бассейн р. Малая Алматинка), показала, что его величина только на участке - устье р. Горельник - Ворота Туюксу близка к 600 млн м³. С учетом возможных выносов из участка, расположенного выше Ворот Туюксу, и р. Горельник объем выноса наносов составляет около 1 млрд м³.

Практическое равенство объемов выноса наносов из горной части бассейна р. Малая Алматинка и отложений на конусе выноса в межледниковый период позволяет сделать однозначные выводы: морена, заканчивающаяся в высотном интервале 1600. . . 1800 м в бассейне р. Малая Алматинка образовалась в период рисского оледенения; практически не разрушенная морена, заканчивающаяся в высотном интервале 2600. . . 2800 м - результат вюрмского оледенения.

Возраст рыхлообломочных масс, мощность которых достигает 150 м, а длина - 2,5. . . 3,5 км, расположенных под ледн. Туюксу может

быть оценен из следующих соображений. Представляется очевидным, что аккумуляция столь значительных масс (50. . . 100 млн м³) могла произойти лишь в процессе дегляциации бассейна р. Малая Алматинка и после практически полного исчезновения оледенения в этом районе. В процессе дегляциации возникали моренные отложения, а затем происходило накопление рыхлообломочного материала за счет селей дождевого генезиса, формировавшихся в отрицательных формах рельефа, заполненных в настоящее время ледниками.

Хорошая сохранность морен Заилийского Алатау, заканчивающихся в высотном интервале 2600. . . 2800 м, свидетельствует о том, что накопление рыхлообломочного материала, перекрытого в настоящее время ледн. Туюксу, происходило в ресс-вюрмское межледниковье.

Таким образом, по нашему мнению, имеются убедительные доказательства того, что масштабы ресского оледенения в Заилийском Алатау значительно превышали таковые вюрмского оледенения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов В.А. О следах древнего оледенения в Заилийском Алатау / Гляциологические исследования в период МГГ. Заилийский и Джунгарский Алатау. - Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1961. - С. 150-167.
2. Гросвальд М.Г., Глебова Л.Н., Стекленков А.П. Вюрмское оледенение Тянь-Шаня и "палеогеографическая загадка озера Иссык-Куль" // Материалы гляциологических исследований. - М., 1992. - Вып. 73. - С. 23-36.
3. Жандаев М.Ж. Палеогеографические условия формирования гидрографической сети и речных долин Заилийского Алатау / Проблемы физической, экономической и медицинской географии Казахстана. - Алма-Ата, 1967. - С.26-34.
4. Жандаев М.Ж. Геоморфология Заилийского Алатау и проблемы формирования речных долин. - Алма-Ата, 1972. - 162 с.
5. Илийская долина, ее природа и ресурсы / Под общ. ред. М.И. Ломоновича. - Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1963. - 341 с.
6. Казанли Д.Н. Формирование Заилийского Алатау как орографической единицы // Известия АН КазССР, Сер геол., 1954. - Вып. 18. - С. 17-28.
7. Медоев Г.Ц. Геологические условия образования грязе-каменных потоков в бассейне р. Малой Алматинки // Тр.КГМИ. - Алма-Ата, 1938. - Вып.1. С. 5-22.
8. Манин А.С. История Земли. - Л.: Изд-во Наука, 1977. - 228 с.
9. Степанов Б.С., Хайдаров А.Х., Яфязова Р.К. О масштабах оледенения Заилийского Алатау в верхнем плейстоцене // Гидрометеорология и экология. - 1999. - №3. - С. 127-133.
10. Степанов Б.С., Яфязова Р.К. Особенности формирования конусов выноса северного склона Заилийского Алатау // Гидрометеорология и экология. - 1995. - №3. - С. 18-28.

11. Чупахин В.М. Физическая география Тянь-Шаня. - Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1964. - 373 с.
12. Яфязова Р.К. Основные закономерности формирования селевых конусов выноса (на примере северного склона Заилийского Алатау): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. - Алматы, 1998. - 21 с.
13. Яфязова Р.К. Особенности механизмов формирования конусов выноса горных рек // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 2. - С. 175-187.
14. Яфязова Р.К. Новый способ оценки селевой активности (на примере северного склона Заилийского Алатау) / Новые подходы и методы в изучении природных и природно-хозяйственных систем. - Алматы, 2000. - С. 220-223.
15. Яфязова Р.К. Селевая активность в Заилийском Алатау в прошлом, настоящем и будущем / Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. - Алматы, 1998. - С. 511-515.
16. Eberl В. Die Eiszeitenfolge im nordlichen Alpenvorlande. Ihr Ablauf, ihre Chronologie auf Grund der Aufnahmen im Bereich des Lech - und Illergletschers. Augsburg, В. Filsner, 1930, 428 S.
17. Penck А., Bruckner E. Die Alpen im Eiszeitalter. Bds 1-3. Leipzig, Tauchnitz, 1909, 1199 S.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

ІЛЕ АЛАТАУЫНЫҢ МҰЗ ҚҰРСАНУЫ

Геогр. ғылымдарының докторы Б.С. Степанов
Геогр. ғылымдарының кандидаты Р.К. Яфязова

Мақалада Іле Алатауының мұз құрсауы саны мен көлемі туралы әр түрлі болжамдар келтірілген. Глобалды климаттың өзгеруі, оның өзгеруінің сел белсенділігіне әсері туралы мәліметтерді пайдалану, биік таулы аймақтағы тасындылардың тау бөктеріндегі жазықтыққа көшуі механизмін білу бұл аймақтың мұз құрсауы көлемін негіздеуге мүмкіндік берді.

УДК 574.504.064.504.53.574

**КОНЦЕПЦИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА Г. АЛМАТЫ**

Канд. геогр. наук

М.Ж. Бурлибаев

Канд. хим. наук

Р.К. Кайдарова

Канд. техн. наук

А.Н. Клец

Канд. хим. наук

Л.В. Ляшенко

В настоящее время под экологическим мониторингом подразумевается промышленный ведомственный мониторинг и мониторинг, проводимый РГП "Казгидромет". Однако, при отсутствии самой концепции экологического мониторинга, совокупность ныне проводимого контроля природной среды, не может быть автоматически принята за вышесказанное. Представляется целесообразным изначально определиться с концепцией экологического мониторинга и разрабатывать целостные проекты по всеобъемлющему контролю окружающей среды.

Обоснование для проведения работы.

Указом Президента Республики Казахстан № 853 от 15 июля 1992 г. "О мерах по реализации стратегии становления и развития Казахстана как суверенного государства, Постановлением Кабинета Министров Республики Казахстан № 839 от 7 октября 1992 г., Распоряжением Первого заместителя Премьер-министра Республики Казахстан № 44-20 от 8 сентября 1992 г. в качестве раздела Национальной Программы технологического прорыва была предусмотрена разработка Программы Глобальной системы природного и экологического мониторинга. Ответственными за ее выполнение были назначены Министерство науки и новых технологий и Министерство экологии и биоресурсов Республики Казахстан (Минэкобиоресурсов).

На начальном этапе разработки единой Программы экологического мониторинга, осуществлялась обособленно различными организациями: НАН РК и Научно-производственным объединением "Казмеханобр". Постановление Кабинета Министров РК № 434 "О республиканских целевых научно-технических программах" вышеназванный раздел был пере-

именован в Республиканскую целевую научно-техническую программу "Создание глобального экологического и природно-ресурсного мониторинга". По инициативе Минэкобиоресурсов обе программы были заслушаны и обсуждены на совещании в НАН РК под председательством акад. Байтулина И.О. Было принято решение объединить их, поскольку Программа, разработанная НАН РК (научный руководитель Закарин Е.А., ответственный исполнитель Спивак Л.Ф.) носила больше научный характер, а программа, разработанная "Казмеханобром" (научный руководитель вице-президент НАН РК Байтулин И.О., ответственный исполнитель Гадицкий В.В.) - прикладной и касалась в основном мониторинговых систем и систем передачи и обработки информации (Соглашение о совместных работах по реализации программы "Создание глобального экологического и природно - ресурсного мониторинга Казахстана" от 20 декабря 1993 г.).

В результате совещания в Минэкобиоресурсов 02.09.92 г., посвященного обсуждению основных положений программы, с участием представителей Министерства науки и новых технологий, НАН РК, ГНПОПЭ "Казмеханобр", было решено обратиться в Кабинет Министров РК с просьбой о переименовании Республиканской целевой научно-технической программы "Создание глобального экологического и природно-ресурсного мониторинга" в Программу создания Единой Государственной системы экологического мониторинга РК, считая, что это в большей мере соответствует направлению работ в области мониторинга окружающей среды. Создание и действие Единой Государственной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов закреплено в законе РК "Об охране окружающей среды" (Глава VI, ст. 24 и 25) [1].

Введение единой системы мониторинга за состоянием окружающей среды является приоритетной задачей "Концепции экологической безопасности Республики Казахстан", одобренной распоряжением Президента от 30 апреля 1996 г., № 2967 [5].

В соответствии с решением Кабинета Министров от 3 октября 1994 г. № 9 и во исполнение плана действий Правительства по углублению реформ и стабилизации экономики Минэкобиоресурсов разработана и согласована со всеми заинтересованными организациями "Концепция Единой государственной системы экологического мониторинга Республики Казахстан" [9]. Однако проект постановления "Об утверждении подзаконных актов по созданию и функционированию Единой Государственной

системы экологического мониторинга окружающей среды и природных ресурсов" был не согласован Министерством финансов РК ввиду отсутствия обоснования необходимости принятия акта с изложением социально-экономических последствий о его принятии и предполагаемых финансовых затратах (письмо Минфина от 10.07.98 г. № 10-10-3-8/5436).

В рамках проекта оказания технической помощи Всемирного банка Минэкобиоресурсов Концепция Единой Государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ РК) была доработана и дополнена материалами, разработанными специалистами фирмы Science Application International Corporation (SAIC) и рабочей группой местных специалистов [8, 11].

1. Программа Государственной единой системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)";
2. "Руководство к программам эффективного мониторинга загрязнения окружающей среды".

В 1997 г. по заданию Минэкобиоресурсов объединение "Казмеханобр" в составе задания "Развитие Государственной системы экологического мониторинга РК (ЕГСЭМ РК) и разработка технического задания по его осуществлению" разработало проекты документов по правовому и нормативному обеспечению Единой Государственной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов (ЕГСМОС и ПР): "Положение о мониторинге окружающей среды и природных ресурсов РК" и "Устав государственного информационно-аналитического центра Единой Государственной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов РК" [10].

В последние годы решение проблем охраны окружающей среды, рационального использования природных ресурсов, контроля Чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, приводящих к нежелательным экологическим последствиям, становится первоочередным как для отдельно взятой страны, так и человечества в целом. Это обусловлено структурными изменениями в экономике стран и их постепенным переходом к устойчивому развитию.

В настоящее время сеть наблюдений за источниками воздействия и состоянием биосферы охватывает уже весь земной шар. Глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС) была создана совместными усилиями мирового сообщества (основные положения и цели программы были сформулированы в 1947 году на Первом межправительст-

венном совещании по мониторингу). Первоочередной задачей была признана организация мониторинга загрязнения окружающей среды и вызывающих его факторов воздействия [2].

Государствами СНГ принято решение о сотрудничестве в области экологического мониторинга, в связи с чем государства-участники СНГ предпринимают меры для создания Межгосударственной системы экологического мониторинга.

В 1993 году в Российской Федерации было принято решение о создании единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), которая должна объединить возможности и усилия многочисленных служб для решения задач комплексного наблюдения, оценки и прогноза окружающей среды. В настоящее время работы по созданию ЕГСЭМ находятся на стадии пилотных проектов регионального масштаба [3, 6, 12].

В 48 регионах проведена работа по созданию территориальных подсистем ЕГСЭМ; в 20-ти регионах созданы региональные аналитические центры с современным компьютерным оборудованием и доступом к геоинформационным системам. Некоторые регионы (например, Нижегородская область) создали новые межведомственные центры для интегрирования информации о состоянии окружающей среды, поступающей от различных систем мониторинга.

Казахстан подписал итоговые документы Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-92), активно входит в процессы международного сотрудничества. Страна стала участницей более десяти международных договоров, конвенций и других соглашений в области охраны окружающей среды, в том числе Киотского протокола к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. Издан Указ Президента о присоединении к Приложению 1 Рамочной конвенции об изменении климата. Приняты законы РК о присоединении к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха, Конвенции об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте.

Началось выполнение обязательств страны по многим международным договорам, в том числе по изменению климата, Венской конвенции и Монреальскому договору в отношении озоноразрушающих веществ, конвенциям по биоразнообразию и опустыниванию. Готовятся к ратификации новые международные экологические конвенции, такие как конвенция Европейской экологической комиссии по трансграничным про-

блемам, Базельской конвенции по контролю за опасными отходами, Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях и др.

В этих условиях особую актуальность приобретает вопрос о создании в Казахстане единой информационной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов и организация экологического мониторинга за состоянием окружающей среды в городах, промышленных центрах и населенных пунктах. Разработка единой системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов является одной из приоритетных задач стратегического плана устойчивого развития Республики Казахстан “Экология и природные ресурсы” на 1998-2000 гг.

Постановлением Правительства Республики Казахстан от 19.02.98 г. № 119 об утверждении “Плана мероприятий по реализации Программы действий Правительства Республики Казахстан на 1998-2000 годы” было предусмотрено: “Разработать единую информационную систему мониторинга окружающей среды и природных ресурсов” (п.4.5.2.3).

Создание единой системы экологического мониторинга в г. Алматы является одним из основных приоритетов Стратегического плана развития г. Алматы за № 193 от 16 марта 1998 г.

В целях реализации законодательных и нормативно-правовых документов РК в части осуществления Единого государственного экологического мониторинга на территории РК Министром экологии и природных ресурсов был издан приказ № 151 П от 30.09.98, которым были утверждены:

- **Положение** о единой информационной системе мониторинга окружающей среды и природных ресурсов;

- **Порядок** государственного учета, хранения и представления информации в рамках единой государственной информационной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов Республики Казахстан.

Правительством Республики принято Постановление от 25 сентября 2000 г. № 1449 “О создании единой системы государственных кадастров природных объектов Республики Казахстан на основе цифровых геоинформационных систем”. Создание единой системы кадастров поручено МПРООС и заинтересованными государственными органами. Утверждены Правила создания и ведения кадастров.

В соответствии с этими нормативными актами областные, территориальные, городские управления охраны окружающей среды приступили к формированию базы данных по мониторингу, но, к сожалению, в си-

лу сложившихся социально-экономических условий, несовершенства организационно - технических аспектов природопользования, реализация экологического мониторинга в единой государственной информационно-аналитической системе не достигнута практически ни в одном городе, промышленном комплексе, а, следовательно, и на всей территории Республики Казахстан.

На территории г. Алматы экологический мониторинг осуществляют, либо собирают информацию о нем, следующие организации:

- Алматинское городское территориальное управление охраны окружающей среды (АТГУООС);
- Алматинское областное территориальное управление охраны окружающей среды;
- Республиканское государственное предприятие по гидрометеорологии и мониторингу природной среды (Казгидромет) МПР и ООС РК;
- Алматинский городской Комитет по управлению земельными ресурсами (АлматыгорНПЦзем);
- Городское СЭУ Агентства РК по делам здравоохранения;
- Алматинское городское управление по ЧС;
- Балхаш-Алакольское бассейновое водохозяйственное управление;
- ТУ "ЮжКазнедра" Комитета геологии и охраны недр МПР и ООС РК;
- АО "Алматыгидрогеология";
- Учреждение "Алматыгидрогеомониторинг";
- Управление статистики г. Алматы;
- Управление дорожной полиции;
- Крупные предприятия города: ГКП "Водоканал", ТЭЦ, АХБК и др.;
- Общественные экологические движения и организации и др. (АО "КазГИДЭК", ОАО "Зеленстрой", ТОО "КазИМС", ТОО "Экопроектлtd" и др.);
- научные, проектные организации, ВУЗы, Институты Минобразования и науки РК (Институт космических исследований, Институт ботаники и фитоинтродукции, Институт сейсмологии, КазГИИЗ, КГП "Алматыградкадастр", ДГП ГНПОПЭ "Казмеханобр", КазАГРУ, КазГМУ и др.).

Вышеперечисленные службы ведут наблюдения автономно, программы мониторинга практически не скоординированы между собой и существующие системы наблюдений и контроля имеют ряд существенных недостатков:

- разобщенность и методическая несовместимость ведомственных служб экологического мониторинга;

- не удовлетворяющая потребности оперативность и слабая степень автоматизации процессов получения, передачи, обработки и доведения информации до потребителя;

- отсутствие Центра обработки и комплексного анализа экологической информации, единых унифицированных межведомственных методик и программ измерения экологических параметров окружающей среды и источников антропогенного воздействия, алгоритмов комплексной обработки экологической информации и прогностических моделей оценки экологической обстановки применительно к полному комплексу природоохранных мероприятий и рациональному использованию природных ресурсов г. Алматы;

- отсутствие необходимого финансирования;

- отсутствие достаточного количества пунктов, станций наблюдений;

- морально устаревшее оборудование, значительное отставание в оснащении станций, постов и лабораторий современным парком приборов;

- потеря квалифицированных кадров;

- отсутствие должного метрологического обеспечения и контроля достоверности получаемой информации;

- несовершенство применяемой методологии мониторинга вследствие неполноты теоретических представлений о пространственно-временных закономерностях формирования техногенно-природных систем и, как следствие, недостаточно представительная концептуальная база проводимого комплекса эколого-информационных работ.

Отсутствие системной организации работ и представительного набора минимально необходимого их комплекса приводит к тому, что получаемая в настоящее время традиционными методами экологическая информация о состоянии и динамике развития окружающей среды г. Алматы в целом оказывается противоречивой и недостаточно достоверной. В отдельных подсистемах экологического мониторинга проводятся работы, дублирующие друг друга, что ведет к нерациональному использованию и так ограниченных средств.

Все это обуславливает необходимость создания в г. Алматы единой системы экологического мониторинга (ЕСЭМ), обеспечивающей выполнение требований по полноте, достоверности, оперативности, перио-

дичности и комплексности получения и обработки экологической информации.

По линии межправительственного технического сотрудничества ФРГ-Казахстан в 1996-1999 гг. выполнена первая фаза Проекта "Экологизация водопользования г. Алматы". Заказчик проекта со стороны Германии - Германское общество по Техническому сотрудничеству, генеральный исполнитель - фирма "Консалтинг унд Инжиниринг". С Казахской стороны Бенефициар (получатель) проекта - Алматинское городское территориальное управление охраны окружающей среды (АГТУООС). Данным проектом проведены работы по созданию эффективной системы мониторинга водопользования г. Алматы. Разработана Концепция единой системы экологического мониторинга водопользования и лабораторного контроля, программа мониторинга поверхностных вод в экологических границах г. Алматы, а также пособие по организации и эксплуатации информационного центра (АИЦ) при АГТУООС для обработки экологической информации [4, 7].

За период осуществления первой фазы проекта решены следующие задачи:

- выбрана программная и техническая платформа, позволяющая проводить сбор, хранение, обработку и обобщение с учетом перспективы роста;
- разработаны формы и шаблоны, дающие возможность проводить унификацию входных и выходных документов;
- опробована технология географических информационных систем (ГИС) для работы с базами данных водопользования;
- построена локальная сеть internet аналитического информационного центра (АИЦ), и в распоряжение АГТУООС передаются базы данных под управлением программных продуктов, использующих эту технологию;
- закуплено периферийное оборудование, компьютерная техника и проведены подготовительные работы для создания локальной сети (АГТУООС);
- разработано пособие для организации более эффективной работы с имеющейся информацией в АГТУООС.

Переданная информационная технология предназначена для широкого использования специалистами всех отделов. Она имеет инструментальные и программные средства для решения не только текущих задач по экологической экспертизе, охране земель, водных, растительных ресурсов,

воздушного бассейна, мониторинга и т.д., но и возможность совместно создавать информацию (документы, карты и т. д.).

Вместе с тем, наблюдаемые тенденции в изменении состояния отдельных компонентов окружающей среды и здоровья населения города, а также дальнейшее устойчивое развитие г. Алматы требуют принятия эффективных решений по управлению качеством окружающей среды.

Целью настоящей Концепции является отработка и согласование основополагающих принципов и требований построения ЕСЭМ г. Алматы и ее функциональной и организационной структуры, планируемых подсистем и потоков информации, материально-технической базы, аспектов финансового и кадрового обеспечения, методологии и средств контроля ЕСЭМ.

Город Алматы в его границах в системе ЕГСЭМ РК является локальным уровнем экологического мониторинга. В силу физико-географических, природно-климатических условий и сформировавшегося неудовлетворительного экологического состояния в результате многолетней нерациональной хозяйственной деятельности введение на его территории единой системы экологического мониторинга является необходимостью времени.

Целью ЕСЭМ г. Алматы, как многоцелевой информационно-измерительной и прогностической системы, наблюдающей за состоянием окружающей среды, за тенденцией и степенью ее изменения под влиянием хозяйственной деятельности, является обеспечение необходимой экологической информацией (ретроспективной, текущей, прогнозной, рекомендательной) в различных видах (цифровом, текстовом, графическом, картографическом) всех уровней управления г. Алматы и населения для:

- долгосрочного, среднесрочного и текущего планирования и управления хозяйственной деятельностью, устойчивого развития г. Алматы с учетом экологической целесообразности, международных экологических стандартов и рыночной оценки;

- оперативного оповещения о неблагоприятных экологических явлениях и тенденциях, катастрофах и стихийных бедствиях и выработке нестложных мер по их ликвидации;

- организации информационно-аналитической работы по просвещению населения в области экологии и рационального использования природных ресурсов;

- лицензирования и лимитирования природопользования;

- контроля за соблюдением природоохранного законодательства, лицензионных и контрактных условий природопользования;
- выполнения международных обязательств и соглашений в области охраны окружающей среды и рационального природопользования.

Основными задачами ЕСЭМ г. Алматы являются:

- организация и осуществление системных наблюдений за состоянием окружающей среды, источниками антропогенного воздействия на нее, качеством среды обитания, санитарно-гигиенической обстановкой, рациональным использованием природных ресурсов;
- анализ и оценка особенностей, уровня загрязнения и тенденции изменения качества окружающей природной среды;
- оценка эффективности мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- создание и ведение банков данных наблюдений и прогноза экологической обстановки;
- оперативное обеспечение информацией в различных видах (цифровом, текстовом, графическом, картографическом) органов, принимающих управленческие и хозяйственные решения; общественности;
- разработка экологических прогнозов состояния окружающей среды (краткосрочных, долгосрочных) и оперативное информирование соответствующих служб управления об экологически опасных явлениях;
- подготовка рекомендаций по предупреждению, нормализации, оздоровлению экологической ситуации в районах города и в целом г. Алматы, по совершенствованию существующих методов контроля и практического ведения экологического мониторинга;
- регулярное издание экологических бюллетеней.

Основными функциями ЕСЭМ г. Алматы являются:

- определение связи между характеристиками воздействия на природную среду, изменением уровня загрязнения и его последствиями;
- проведение инструментальных замеров и лабораторных анализов по всем параметрам объектов окружающей среды и природных ресурсов;
- наблюдение за качеством среды обитания населения города, сохранение естественного природно-ресурсного потенциала биосферы как безусловного фактора выживания цивилизации и человека в частности;
- гармонизация действий различных мониторинговых сетей и обеспечение единого информационного пространства в рамках ЕГИСМ ОС и ПР;

- ведение баз данных экологической и геологической информации;
- единое методическое и метрологическое обеспечение системы ЕСЭМ;
- обработка, обобщение и анализ информации о фактическом состоянии окружающей среды и природных ресурсов;
- организация информационно-аналитической экологической системы, обеспечивающей обмен экологической и природно-ресурсной информацией на всех уровнях (объектном, локальном, региональном, республиканском и международном);
- обеспечение трансферента передовых экологически безопасных технологий, патентной информации, компьютерных программ в области охраны окружающей среды и природных ресурсов;
- поиск новых возможных экологических опасностей и неблагоприятных эффектов, организация и проведение комплексных, поисковых, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- международное сотрудничество в области охраны окружающей среды и рационального природопользования;
- обеспечение государственных исполнительных органов власти, природопользователей и общественности информацией в области экологического мониторинга.

В соответствии с целью, задачами и функциями ЕСЭМ, она должна основываться на следующих принципах:

- оптимизация материальных и финансовых затрат на создание, функционирование и совершенствование системы;
- объединение, интеграция и координация существующих государственных, ведомственных и отраслевых систем сбора первичной экологической информации на единой организационной и научно-методической основе;
- согласование и совместимость информационных потоков в системе на основе применения единой координатно-временной системы, использования единой системы классификации, кодирования, форматов и структуры данных;
- централизация доступа к информации, содержащейся в ведомственных системах наблюдения и контроля за состоянием окружающей среды;
- организация Алматинского Центра мониторинга окружающей среды (АЦМОС), создаваемого при Акиме г. Алматы;

- интеграция ЕСЭМ г. Алматы в региональную, республиканскую, межгосударственную стран СНГ, международную и глобальную (ГСМОС) системы экологического мониторинга.

ЕСЭМ г. Алматы, как и любая информационно-измерительная система, для обеспечения ее эффективности, должна удовлетворять ряду общих требований, касающихся способов получения, обработки и передачи информации. Это, в частности, требования:

- оперативности (получение и передача информации в реальном либо квазиреальном масштабе времени);

- последовательности (необходимость поэтапного сбора и анализа информации);

- непрерывности (постоянного обновления информации);

- системного соответствия (учет взаимосвязи и взаимозависимости экологических факторов с факторами техногенеза и другими природными факторами);

- репрезентативности (требование достоверно отражать существенные признаки и свойства природных объектов);

- открытости (способность к совершенствованию и вовлечению новых объектов);

- конструктивности (необходимость и достаточность поставленной информации для проведения объективного анализа ситуации и принятия оптимальных управленческих решений);

- масштабности (соблюдение соотношения масштаба экологических задач составу и плотности информации, необходимой для их решения);

- законодательное и нормативно-правовое обеспечение должно в полной мере решить вопросы создания и ведения экологического мониторинга г. Алматы с учетом его особого статуса;

- организационная структура системы должна обеспечить функционирование ЕСЭМ во взаимодействии со всеми органами, уполномоченными осуществлять государственный, ведомственный и производственный контроль и мониторинг на территории г. Алматы;

- методическое обеспечение системы должно решить вопросы оптимального размещения сети наблюдений, аналитики, регистрации данных (их вид, состав, формы), сроки передачи данных, порядка обработки информации, в том числе контроля исходных данных на полноту и досто-

верность, решать вопросы состава, содержания, форматов отчетности, сроков и получателей выходной информации;

- техническое оборудование системы мониторинга должно обеспечить качественное, достаточное, достоверное проведение измерений экологических показателей и возможность локальной и централизованной обработки исходной информации, сопоставимость и точность результатов;

- метрологическое обеспечение системы должно привести все методы и средства контроля в соответствие с требованиями соответствующих стандартов Республики Казахстан и их гармонизацию с международными;

- программное обеспечение системы должно обеспечить возможность:

1) стыковки с программными средствами всех функционирующих на территории г. Алматы подсистем ЕСЭМ, а также АСУ г. Алматы;

2) ввода, хранения, обработки исходных и вторичных данных, прогнозирования изменения состояния окружающей среды в пространстве и во времени;

3) комплексной обработки данных различных звеньев (поверхностные воды - подземные воды; атмосферный воздух - почва (недра); промышленные отходы - атмосферный воздух и т.д.);

4) автоматизированного обмена данными и выходной информацией между подсистемами ЕСЭМ г. Алматы, а также пользователями системы;

5) допускать наращивание системы за счет включения в нее дополнительных подсистем данных и задач;

6) постоянного развития программных средств и их соответствия национальному (международному) уровню программного обеспечения, защиту информации от несанкционированного доступа и уничтожения.

ЕСЭМ г. Алматы должна быть развернута с позиций констатации ситуации на позиции оперативного реагирования и раннего предупреждения об экологической опасности на потенциально опасных объектах и участках территории города. Она должна ориентироваться, в первую очередь, на получение опережающих, обобщенных оценок степени нарушенности естественно-ресурсного потенциала территории, на физико-химически, экологически и санитарно-токсикологически обоснованную систему нормативов качества окружающей среды и антропогенно-техногенных нагрузок (транспортных, энергетических, промышленных, рекреационных и т.д.).

На этой основе может строиться долгосрочный прогноз, направленный на выявление критических точек, очагов, зон и состояний, опреде-

ляющих направления и тенденции развития экологической ситуации. При этом долгосрочный прогноз формируется еще в условиях, когда указанные тенденции можно изменить (предотвратить катастрофу, экологическое бедствие, необратимые изменения в экосистемах).

ЕСЭМ г. Алматы в его экологических границах должна иметь двухуровневую иерархически организованную структуру с агрегированием звеньев на подсистемы по отдельным уровням и на отдельные блоки по объектам экологического мониторинга.

Экологический мониторинг в рамках ЕСЭМ г. Алматы должен осуществляться на следующих уровнях, с требуемым для каждого уровня пространственным и временным разрешением:

- **объектный уровень** (юридические лица - природопользователи: промышленные предприятия, передвижные источники загрязнения и т.д.), включающий на первом этапе инспекционные средства экологического контроля, а в перспективе - мобильные и стационарные автоматизированные средства мониторинга;

- **локальный уровень** (пром- или энергоузел, район, город), включающий стационарные, мобильные средства и комплексы наземного и дистанционного экологического мониторинга, обеспечивающие выявление экологически опасных зон и наблюдение за динамикой их развития.

Единую систему экологического мониторинга г. Алматы необходимо рассматривать как часть (подсистему) Единой государственной системы мониторинга окружающей среды и природных ресурсов Республики Казахстан (ЕГСМОС и ПР), поэтому согласно стратегии и тактики развертывания ЕГСМОС ПР в Республике Казахстан на начальном этапе необходимо обеспечить совместное функционирование уже действующих и вновь проектируемых информационно-измерительных сетей и банков, базы данных Алматинского городского и областного территориальных управлений охраны окружающей среды (АГТУООС и АОТУООС), Казгидромета, АлматыгорНПЩзема, Горкомзема, БАБВУ, ТУ "Южказнедра", АО "Алматыгидрогеология", Учреждение Алматыгидрогеомониторинг", ГКП "Водоканал", КазГИИЗ, Горуправление по ЧС, ГорСЭУ, УДП ГУВД, научно-исследовательских, проектных институтов и организаций, ВУЗов, других экологических центров, крупных энергетических и промышленных предприятий, таких как ТЭЦ-1, ОАО "Алматытеплокоммунэнерго", АХБК и др.

Основные обеспечивающие компоненты ЕСЭМ (средства связи, лаборатории, информационные службы и т.д.) должны иметь возможность функционировать автономно и допускать использование информации не только в чисто экологических целях. Функционирование ЕСЭМ г. Алматы, также как и ЕГСМОС и ПР РК, должно опираться на соответствующую нормативно-правовую базу (законодательные акты и механизм их реализации).

Абонентами (пользователями) системы могут быть как поставщики (владельцы) так и потребители информации. Их взаимодействие осуществляется по принципу открытых систем. Включение в систему новых пользователей регламентируется соответствующими системными соглашениями.

С целью обеспечения достоверности и репрезентативности экологической информации на всех стадиях ее прохождения от участков отбора проб, их подготовки, анализа, обработки, интерпретации в рамках ЕСЭМ г. Алматы должна существовать система обеспечения качества данных.

Необходимо обеспечить правовое научно-методическое и организационно-техническое руководство ЕСЭМ г. Алматы к вопросам унификации, стандартизации методик анализа объектов мониторинга, аттестации, сертификации и метрологического обеспечения методов и средств измерения сетей экологического мониторинга.

В системе экологического мониторинга г. Алматы выделяются подсистемы различного назначения. В соответствии с общими принципами разработки ЕСЭМ подсистемы мониторинга, осуществляющие сбор и накопление информации об экологической обстановке г. Алматы, эксплуатируют программно и технически совместимое семейство ЭВМ и других технических средств. Подсистемы используют совместный проблемноориентированный программный продукт, СУБД, инструментальные и графические программные средства, пакеты прикладных программ, а также имеют систему классификаторов, обозначений атрибутов, единую физическую систему файлов баз данных. Подсистемы мониторинга осуществляют между собой обмен информацией через единые программные средства.

Объектный уровень ЕСЭМ г. Алматы включает производственный мониторинг окружающей среды, учет и отчетность о воздействии осуществляемой природопользователями хозяйственной деятельности на окружающую среду. Наблюдение производится за состоянием организованных и неорганизованных источников антропогенного воздействия, при этом обеспечиваются регулярные количественные измерения определен-

ного ряда их характеристических показателей. Ответственность за создание и ведение производственного мониторинга в пределах отведенных им объектов, лицензионных территорий, участков природопользования (в том числе недропользования) возлагается на природопользователей. При этом природопользователь гарантирует представление данных производственного мониторинга и отчетность о воздействии на окружающую среду в ЕСЭМ г. Алматы.

Программа производственного мониторинга должна быть утверждена руководством предприятий и согласована уполномоченными государственными органами по охране окружающей среды и Центром ЕСМОС г. Алматы.

Надзор за функционированием системы мониторинга источников антропогенного воздействия осуществляется контрольно-инспекционной службой Городского территориального управления ООС. Факты нарушения правил эксплуатации технических средств наблюдения, их несоответствие предъявляемым требованиям, искажение и сокрытие информации, а также несвоевременность ее представления влекут за собой штрафные санкции и другие меры наказания вплоть до лишения природопользователя соответствующей лицензии.

Локальный уровень ЕСЭМ г. Алматы представлен Государственной сетью наблюдений. Создается республиканскими органами и финансируется за счет средств республиканского бюджета. Государственный мониторинг компонентов окружающей среды и природных ресурсов выполняется уполномоченными государственными органами по государственным программам и государственной сети наблюдений.

Сеть локальных станций ЕСЭМ г. Алматы создается местными органами за счет собственных ресурсов, по части государственных пунктов наблюдений республиканского значения за счет республиканского бюджета. Целесообразно привлечение на контрактной основе научно-исследовательских организаций, лабораторий, институтов других ведомств при условии обязательного соблюдения ими круга разрешенных к использованию методов и методик измерений и охвата их системой контроля качества данных ЕСЭМ г. Алматы.

В местах с высокой степенью риска возникновения аварийных ситуаций локальный уровень ЕСЭМ г. Алматы создается в виде автоматизированных информационно-измерительных систем (АИИС), включающих в себя:

- звенья автоматического контроля (мониторы), производящие измерения определенного числа показателей в непрерывно-циклическом режиме;

- передвижные лаборатории, осуществляющие мониторинг по специальной программе, полевые измерения и оперативную доставку проб в лаборатории;

- стационарные лаборатории для детального анализа проб и определения показателей, которые невозможно либо нецелесообразно контролировать в полевых условиях;

- центры обработки информации, управляющие функционированием АИИС и формирующие выходную информацию.

Локальный уровень образуется системой экологического мониторинга, на базе систем мониторинга окружающей природной среды территориального уровня органов республиканской исполнительной власти, участвующих в ЕГСЭМ Республики Казахстан, систем мониторинга предприятий, организаций и их объединений под общим руководством территориального органа Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Руководство центром должен осуществлять директорат, в состав которого по положению должны входить руководители или представители природоохранных органов и местной администрации административно-территориальной единицы города.

В состав центра должна входить следующие подразделения:

- оперативно-аналитическое, осуществляющее оперативный анализ информации об экологическом состоянии территории и путях решения экологических проблем и обеспечивающее информацией государственные исполнительные и представительные органы местного самоуправления, а также средства массовой информации и общественность данными, необходимыми для принятия руководящего решения;

- информационно-аналитическое, собирающее информацию объектного уровня, создающее банк данных, анализирующее полученную информацию для оперативно-аналитического отдела, организующего обмен информацией с другими территориальными центрами и с республиканским центром;

- отдел обеспечения локальных станций, осуществляющих научно-методологическое и методическое обеспечение, обучение персонала станций, обеспечение сертификации и метрологии приборов, проведение тех

анализов, которые по тем или иным причинам не могут быть проведены на локальных станциях.

В целях повышения качества прогнозов экологической обстановки, объективности принимаемых управленческих решений оперативно-аналитическое и информационно-аналитическое подразделения территориального эколого-информационного центра должны иметь вычислительные центры для обработки информации, аналитические группы для анализа экологической обстановки и экспертные советы для принятия объективных решений по результатам анализа и выработки рекомендаций для управляющих органов и должны территориально располагаться в непосредственной близости и функционировать в тесном контакте с руководством местной администрации, иметь прямые связи с органами Комиссии по чрезвычайным ситуациям территории.

Научно-исследовательский отдел должен формироваться на базе крупнейших научно-исследовательских или учебно-научных учреждений территории.

Информация в области мониторинга окружающей среды и природопользования (в том числе недропользования) г. Алматы включает в себя данные о фоновом состоянии, загрязнении, оздоровлении окружающей среды, использовании и воспроизводстве природных ресурсов (в том числе недр), источниках финансирования и расходования средств на мероприятия по мониторингу окружающей среды и использованию природных ресурсов (в том числе недр), воздействию на окружающую среду, полученную в процессе экологических научно-исследовательских, эксплуатационных, разведочных и других видах работ.

Обеспечение информацией об экологической обстановке в подсистемах ЕСЭМ г. Алматы различных уровней должно осуществляться:

- от собственных средств предприятий на производственный мониторинг окружающей среды г. Алматы;
- от центров локального уровня экологического мониторинга г. Алматы;
- от средств, систем и центров наблюдения других ведомств, организаций и учреждений, располагающих информацией о состоянии окружающей среды г. Алматы (средства и системы Казгидромета, АТГУООС, Алматинский городской Комитет по управлению земельными ресурсами, АО "Алматыгидрогеология", учреждение "Алматыгидрогеомониторинг",

научно-исследовательские институты, проектные институты и организации, ВУЗы и др.

Подсистема ЕСЭМ каждого уровня должна обеспечивать необходимой информацией органы управления своего уровня (объектовые, районные, городские, областные, республиканские и т.д.) безвозмездно и в том объеме, который отвечает уровню их ответственности за состояние экологической обстановки, а также являться источником информации для подсистемы более высокого уровня.

Потребителями экологической информации ЕСЭМ г. Алматы являются:

- органы государственного и административного управления города Алматы, района города, а также предприятий и объектов народного хозяйства;

- аппарат Президента РК, министерства и ведомства, а также другие государственные учреждения и организации в соответствии со сферой их ответственности;

- общественные, научные и производственные организации города;

- органы и средства информации, юридические и физические лица.

Материально-техническая база ЕСЭМ г. Алматы включает в себя:

- средства отбора, подготовки, хранения проб и образцов, подлежащих анализу и тестированию;

- стационарные и переносные средства индикации, диагностики, измерений и анализов, включая средства метрологического обеспечения;

- средства измерений, индикации и диагностирования контактными или дистанционными методами, средствами транспорта;

- средства коммуникации и связи;

- средства хранения и обработки информации, интегрированные в:

- 1) сеть стационарных лабораторий, станций, постов и пунктов наблюдений, экспресс-контроля и биодиагностики, сети гидрометеорологических, космических и авиационных систем наблюдения, регистрации и других служб;

- 2) комплекс передвижных (наземных, водных и воздушных) средств экологического мониторинга и контроля, а также комплекс средств аэро- и космо-сканирования и наблюдения;

- 3) единую информационно-аналитическую сеть центров автоматизированной обработки информации на всех иерархических уровнях ЕСЭМ.

Кроме того, очевидна необходимость организации сети постоянных специальных постов наблюдения за состоянием биосферы, модельных площадок и полигонов для отработки приемов и методов экологического мониторинга. С целью прогнозирования возможных изменений экологических нагрузок, указанные посты, площадки и полигоны должны размещаться как на условно чистых, естественных участках ландшафтов и территорий, так и на трансформированных участках (репрезентативность выбранных мест наблюдения и контроля).

Финансирование ЕСМОС г. Алматы осуществляется из местного и республиканского бюджетов, Алматинского городского фонда охраны окружающей среды, средств экологического страхования, собственных средств природопользователей, добровольных взносов и пожертвований юридических и физических лиц, иных источников финансирования, не запрещенных законодательством РК.

ЕСЭМ г. Алматы должна быть укомплектована квалифицированными специалистами всех направлений, входящих в систему. В программах функционирования ЕСЭМ г. Алматы необходимо предусмотреть обязательное системное повышение квалификации специалистов, в том числе и обучение за рубежом.

ЕСЭМ г. Алматы обеспечивает оптимальность всего спектра используемой первичной информации. Критериями такой оптимизации являются: полнота, достоверность и экономическая целесообразность принятия номенклатуры характеристик для реализации определенной целевой функции. Это означает, что на каждом уровне системы (объектном, локальном) и на каждом этапе использования информации должна быть проведена такая оптимизация.

Изменение перечня контролируемых параметров влечет за собой значительные последствия для всей системы мониторинга, особенно для оперативной и базовой подсистемы, так как требует изменения в технических средствах контроля, информационных средствах анализа данных и математических моделях и т.д. В связи с этим, наряду с оптимизацией перечня контролируемых характеристик, необходимо предусмотреть организационный механизм его изменения, учитывающий правовые и экономические последствия.

При выборе методов и средств контроля необходимо исходить из требований высокой достоверности получаемых оценок, их репрезента-

УДК 631.67.001

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ПРИРОДНОЙ СИСТЕМЫ

Доктор техн. наук	Ж. С. Мустафаев
Канд. техн. наук	С.И. Умирзаков
Канд. техн. наук	А.Т. Козыкеева

Разработаны методологические основы ландшафтно-экологического районирования природной системы, включающие физико-географическое, почвенно-экологическое, почвенно-гидрогеохимические, почвенно-мелиоративное, биоэнергетические и экологические. В его основу приняты принципы целостности и единства природы, взаимосвязи и взаимообусловленности природных процессов.

Рациональное природопользование и природообустройство в значительной мере зависит от правильности выбора методологии оценки природно-экологической продуктивности ландшафта. Она в настоящее время подразделяется на три основных типа: климатическая (сумма биологически активных температур, сумма осадков, продолжительность безморозного периода, испаряемость, фотосинтетически активная радиация), агроклиматическая (гидротермический показатель увлажнения, коэффициент увлажнения, оценка увлажнения, индекс сухости, показатель сухости, степень увлажненности) и природно-экологическая (биологическая продуктивность почвы, энергия затрачиваемая на почвообразование, изменение содержания гумуса в почвах, интенсивность влагообмена между почвенными и грунтовыми водами, экологическое состояние территории, индекс почвы, показатель благоприятности климата, продуктивность сельскохозяйственных культур) [13].

Ландшафт как территориальное природное образование в условиях природообустройства, в том числе в сельскохозяйственной мелиорации сознательно и целенаправленно трансформируется человеком для выполнения определенных социально-экономических функций. С развитием естественных наук в области природопользования все большее значение

приобретает ландшафтно-экологический или почвенно-экологический подход обоснования и размещения производительных сил. Этот подход развивающий на стыке двух наук – географической и экологической, не только учитывает взаимосвязи между природными компонентами, но и предполагает оценку продуктивности ландшафтных комплексов и направленности природного процесса, а также анализ возможных изменений компонентов природной среды ее влиянием и разработку экологических ограничений интенсивности антропогенных воздействий и технических приемов в условиях природопользования и природообустройства.

На основе ландшафтно- и почвенно-экологическом подходе оценки продуктивности природных систем, которые реализуются с учетом соблюдения принципов и законов природы о зональных свойствах ландшафтов и методологических принципов решений проблем природопользования и природообустройства, таксономическая система единиц ландшафтно-экологического районирования и показатели их выделения приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Показатели таксономической системы единиц ландшафтно-географического районирования

Единица районирования	Показатель районирования	Значение
Физико-географическое	Соотношение увлаженности и теплообеспеченности территории	Потребность и необходимость сельскохозяйственной гидротехнической мелиорации
Почвенно-экологическое	Балансом прихода и расхода энергии, то есть отношением радиационного баланса к затратам тепла на испарение выпавших осадков	Эволюционная направленность и интенсивность почвообразовательного процесса

Единица районирования	Показатель районирования	Значение
Эколого-мелиоративное	Энергетической сбалансированности тепла и влаги с учетом природных режимов	Обоснование экологически приемлемых, допустимых, безопасных и безотходных норм водопотребления орошаемых земель
Почвенно-гидрогеохимическое	Энергетический режим, который количественно оценивается показателями энергии химической связи вещества, гидротермического режима и энергии почвообразования	Закономерности формирования и функционирования эволюционно развивающейся гидрогеохимической системы
Почвенно-мелиоративное	Отношение работы, совершаемая в элементарном объеме потоков инфильтрационных вод в почве и средней концентрации солей в системе «поверхностная вода – почва – грунтовая вода»	Устойчивость природных систем к мелиоративному воздействию и прогнозировать направленности и интенсивности почвенно-мелиоративных процессов на орошаемых землях.
Биоэнергетическое	Обоснование энергетических ресурсов природной системы и природно-экологической оценки эффективности природопользования	Размещения производительных сил сельскохозяйственного производства и агропромышленного комплекса.

Единица районирования	Показатель районирования	Значение
Экологическое	Негативная реакция природной системы на антропогенную деятельность	Для оценки допустимых и предельных интервалов отклонений от естественных процессов и сохранение природной системы от разрушения и деградации.

К принципам учета географических зональных свойств ландшафтов в основном относятся физико-географическое, почвенно-экологическое, почвенно-геохимическое и эколого-мелиоративное районирование.

Физико-географическое районирование ландшафтов Л.С. Бергом, А.А. Григорьевым, М.И. Будыко, А.Г. Исаченко, В.С. Мезенцевым и другими [2, 9, 4, 7] выполнено используя широко применяемый в географической практике принцип природной зональности, с учетом закономерностей распределения климатических факторов:

- коэффициент естественного увлажнения Н.Н. Иванова [6]:

$$K_y = O_c / E_o$$

- показатель увлажнения Д.И. Шашко [19]:

$$K = O_c / \sum d;$$

- гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова [17]:

$$ГТК = 10 \cdot O_c / \sum t,$$

где O_c - сумма атмосферных осадков, мм; E_o - испаряемость, мм; $\sum d$ - сумма дефицита влажности воздуха, мм; $\sum t$ - сумма температура воздуха, °С.

Таким образом, само собой напрашивается важный вывод, что физико-географические зоны формируются под действием теплоэнергетических и водных ресурсов и их соотношение характеризует уровень естественной влагообеспеченности растительных сообществ почвенной влаги (таблица 2).

Таблица 2

Физико-географическое районирование территорий Казахстана

K_1	Зоны увлажнения	Природные зоны	K	ГТК
0,5	Умеренно засушливая	Лесостепь	1,0... 0,77	1,80
0,5... 0,3	Засушливая	Степь	0,77... 0,55	1,70
0,3... 0,2	Сухая	Полупустыня	0,55... 0,33	0,90
0,2... 0,1	Очень сухая пустыня	Пустыня северная	0,33... 0,22	0,50
0,1... 0,2	Очень сухая пустыня	Пустыня южная	0,22... 0,12	0,60
0,2... 0,3	Сухая предгорная	Предгорная полупустыня	0,12... 0,22	1,10
0,3... 0,5	Засушливая горная	Предгорная степь	0,55... 0,77	1,70
0,5	Умеренно-засушливая и влажная горная	Горные степи и леса	0,77... 1,0	2,00

Основопологающие принципы почвенно-экологического подхода районирования ландшафтов базируются на основе экологического закона географической зональности почв Докучаева-Григорьева-Будыко и эволюционного процесса формирования почв в различных физико-географических зонах. Как известно, природные условия теплообеспеченности и увлажнения непрерывно изменяются в пространстве и во времени, а также взаимосвязи с различными элементами географической среды. Этот процесс в течение некоторого исторического периода обуславливает формирование различий в процессах почвообразования и размещения растительного покрова, естественного деления земной поверхности на почвенно-экологические зоны.

При почвенно-экологическом районировании ландшафтов И.П. Айдаровым [1] и Ж.С. Мустафаевым [13] использован принцип энергетической сбалансированности тепла и влаги с учетом природных режимов, на основе гидротермического показателя М.И. Будыко [2], характери-

зующий отношение радиационного баланса (R) к затратам тепла на испарение выпавших осадков (LO_c):

$$\bar{R} = R / LO_c \text{ или } \bar{R} = R / L(O_c + G),$$

где G - влагообмен между почвенными и грунтовыми водами, мм.

Гидротермический показатель, характеризующий баланс энергии и веществ и определяющий интенсивность протекания биохимических и геохимических процессов на Земле, позволяет определить тип зональных почв и направленность почвообразовательного процесса в естественных условиях и в условиях антропогенной деятельности при мелиорации сельскохозяйственных земель. Хотя почвенные разности и их основные характеристики в пределах почвенно-экологических зон будут различаться в соответствии с механическим составом почвообразующих пород и локальными условиями естественного увлажнения (таблица 3).

Таблица 3

Почвенно-экологическое и эколого-мелиоративное районирование территории Казахстана

Природные зоны	\bar{R}	Основные типы почвы	Q_n , Дж/см ²	O_p , мм
Лесостепь	0,9... 1,0	черноземы	65,1	50... 80
	1,0... 1,2	южные черноземы	44,5	80... 120
Степь	1,2... 1,3	темно-каштановые	39,5	120... 150
	1,3... 1,45	каштановые	30,0	150... 200
Полупустыня	1,45... 1,8	светло-каштановые	13,0	390... 480
Пустыня				
северная	1,8... 3,0	бурые, светло-бурые	2,50	720
Пустыня				
южная	3,0... 2,0	сероземы	2,50	820
Предгорная		сероземы, темные		
полупустыня	2,0... 1,45	сероземы	16,4	500... 560
Предгорная				
степь	1,45... 1,3	каштановые	54,2	220... 310
Горная степь	1,3... 1,2	темно-каштановые	54,6	120... 210
Горные леса	1,2... 1,0	горные типы	59,6	100... 120

Для эколого-мелиоративного районирования ландшафтно-географических зон можно использовать принцип энергетической сбалан-

сированности тепла, влаги и питательных веществ с учетом природных режимов [1, 9, 10], позволяющих обеспечить сохранение экологически благоприятного режима почвообразования, в зонах аэрации и насыщения грунтовыми водами, которые определяются по выражению:

$$\bar{R} = R / L(O_c + O_p + G) = 1.$$

Эти общие закономерности изменяются в пределах одной почвенно-экологической зоны в зависимости от особенности гидротермического режима, гидрологических и геохимических условий ландшафта. В условиях конкретной почвенно-экологической зоны с одинаковым радиационным балансом, затраты энергии на почвообразование (Q_n), изменяющиеся пропорционально относительной увлажненности $E_o / (O_c + G)$ определяют разновидности почвы внутри типа почв.

Для определения затраты энергии на почвообразование можно использовать формулу В.Р. Волобуева [3]:

$$Q_n = R \cdot \exp(-0.47R).$$

Действительно, относительная влажность почв зависит от уровня грунтовых вод, а почвенное плодородие – от их минерализации, химизма процессов и процесса соленакопления. В связи с этим, в пределах почвенно-экологических зон в зависимости от затрат энергии на почвообразование, а также гидрологических и геохимических условий формируются или плодородные луговые почвы или засоленные почвы и солончаки.

Гидрогеохимическое районирование ландшафта основано на анализе формирования вещественного состава гидрохимических потоков в процессе эволюционного развития и интенсивности химической трансформации растворов по ландшафтно-географическим зонам.

Как известно, ландшафт тесно связан с миграцией химических элементов и в совокупности образует геохимические системы. При этом формирование химического состава почвенных и паровых растворов зоны аэрации и грунтовых водах физико-географических или почвенно-экологических зонах и преобразование их зависит от соответствия поступающей солнечной энергии и энергии, необходимой для химических процессов, которые характеризуются энергообменом и гидротермическим режимом типичных для каждой природной зоны. Для оценки гидрогеохимического режима ландшафта или природной зоны Н.И. Парфеновой [16] предложен показатель химической трансформации (Q_{xt}) как отноше-

ние молекулярной массы (M_m) химического элемента или вещества к его электронной плотности (\mathcal{E}_n), как гидротермический показатель (\bar{R}) закономерно изменяющийся по ландшафтно-климатическим зонам:

$$Q_{st} = M_m / \mathcal{E}_n = \int(\bar{R}).$$

Таким образом, при гидрогеохимическом районировании ландшафта должна учитываться специфика природной обстановки: природно-климатических и почвенно-экологических условий, гидродинамика и гидрохимия потоков каждой ландшафтно-географической зоны (таблица 4).

Таблица 4

Гидрогеохимическое районирование территории Казахстана

Природные зоны	\bar{R}	Растворимые соли	Q_{st}
Лесостепь	0,9... 1,0	$MgSO_4, Na_2SO_4$	1,54... 1,65
Степь	1,0... 1,45	$CaCO_3, CaSO_4, Na_2SO_4$	1,71... 1,91
Полупустыня	1,45... 1,8	$KMgSO_4$	1,37
Пустыня северная	1,8... 3,0	$CaCl_2, NaCl, MgCl$	2,8... 3,2
Пустыня южная	3,0... 2,0	$CaCl_2, NaCl, MgCl$	3,20... 3,42
Предгорная полупустыня	2,0... 1,45	$CaCl_2, NaCl, MgSO_4$	3,42... 2,8
Предгорная степь	1,45... 1,3	$Na_2SO_4, CaSO_4$	1,89... 1,91
Горная степь	1,3... 1,2	$MgCO_3, CaCO_3, CaSO_4, NaCl$	1,40... 1,71
Горные леса	1,2... 1,0		

Почвенно-мелиоративное районирование ландшафтно-географических зон сходно с гидрогеолого-мелиоративным районированием, основанным на энергетическом принципе процессов солепереноса, включающих в себя всю сумму природных факторов, которые влияют на процессы миграции солей в системе «почва - грунтовые воды»: климатические показатели, гидрогеологические условия и почвенные признаки ландшафта.

Если рассматривать работу, совершаемую жидкостью в процессе выпадения атмосферных осадков по отношению к концентрации почвенного раствора, то можно предположить, что это отношение показывает способность системы «почва - грунтовые воды» и верхнего слоя почвы освобождаться от легкорастворимых солей. Эта способность природной

системы, характеризующаяся эколого-мелиоративными показателями ландшафта, которые имеют чрезвычайно важное значение в почвенно-мелиоративном районировании ландшафтно-географических зон (таблица 5).

Таблица 5

Почвенно-мелиоративное районирование территории Казахстана

Природные зоны	\bar{R}	Основные типы почв	\bar{M}
Лесостепь	0,9...1,0	черноземы	0,90
Степь	1,0...1,2	южные черноземы	0,89
	1,2...1,3	темно-каштановые	0,81
	1,3...1,45	каштановые	0,75
Полупустыня	1,45...1,8	светло-каштановые	0,60
Пустыня северная	1,8...3,0	бурые, светло-бурые	0,68
Пустыня южная	3,0...2,0	сероземы	0,60
		сероземы,	
Предгорная полупустыня	2,0...1,45	темные сероземы	0,65
Предгорная степь	1,45...1,3	каштановые	0,68
Горная степь	1,3...1,2	темно-каштановые	0,81
Горные леса	1,2...1,0	горные типы	0,80

Для оценки почвенно-мелиоративного состояния ландшафтно-географических зон можно использовать эколого-мелиоративный потенциал ландшафта [18]:

$$M = \bar{A}_n / C_n,$$

где \bar{M} - эколого-мелиоративный потенциал ландшафта; \bar{A}_n - работа, совершаемая в элементарном объеме потоков инфильтрационных вод в почвенном слое; C_n - средняя концентрация солей в системе «поверхностная вода - почва - грунтовые воды».

При ландшафтно-географическом районировании природных зон принцип учета динамических взаимосвязей ландшафтов позволяет определить возможный максимальный запас недоиспользованной солнечной энергии и уровень используемой в почвообразовательном процессе, а также на основе оптимизации и прогнозирования возможного объема природообустройства можно определить интенсивность и направленность природного процесса.

Для этого можно использовать показатель потенциальной энергетической устойчивости почвообразовательного процесса (\bar{Q}), характеризующийся отношением неблагоприятного природного показателя энергии почвообразования (Q_n) при $\bar{R} > 1,20$ к определенным в пределах благоприятного показателя энергии почвообразования (Q_{nh}) при $\bar{R} = 0,9 \dots 1,1$, то есть:

$$\bar{Q} = Q_n / Q_{nh}$$

При биоэнергетическом районировании природных зон можно использовать предлагаемую А.В. Кирейчевой и Н.М. Решеткиной уровень продуктивности ландшафта на основе коэффициента энергетической продуктивности ($K_{эл}$), то есть отношение количества совокупности энергии ($\mathcal{E}_{эл}$), затрачиваемой на единицу продуктивности растений, к энергетическому потенциалу готовой продукции ($\mathcal{E}_{сн}$) или Ж.С. Мустафаевым и З.Б. Кудайбералиевой критерий эффективности энергоемкости сельскохозяйственной продукции ($K_{зэ}$) характеризующийся отношением затраты совокупной энергии накопленной во всем урожае или части его ($V_{фл}$) к энергоемкости полученной продукции ($Q_{эф}$) [15].

Таблица 6

Биоэнергетическое районирование территории Казахстана

Природные зоны	\bar{R}	Основные типы почв	\bar{Q}	$K_{зэ}$
Лесостепь	0,9 ... 1,0	черноземы	1,10	0,90
	1,0 ... 1,2	южные черноземы	1,40	0,70
Степь	1,2 ... 1,3	темно-каштановые	1,40	0,70
	1,3 ... 1,45	каштановые	1,40	0,70
Полупустыня	1,45 ... 1,8	светло-каштановые	2,00	0,50
Пустыня северная	1,8 ... 3,0	бурые, светло-бурые	5,00	0,20
Пустыня южная	3,0 ... 2,0	сероземы	6,70	0,15
Предгорная полупустыня	2,0 ... 1,45	сероземы, темные сероземы	3,30	0,30
Предгорная степь	1,45 ... 1,3	каштановые	2,50	0,40
Горная степь	1,3 ... 1,2	темно-каштановые	2,00	0,50
Горные леса	1,2 ... 1,0	горные типы	1,00	1,0

В основу экологического районирования ландшафтно-географических зон положено определение, оценки почвенно-экологической обстановки ландшафта или агроландшафта с использованием методологического подхода И.П. Айдарова и В.Х. Хачатурьяна, вытекающий из фундаментальных природных законов и, прежде всего, законов сохранения вещества и энергии, изменение которых вызвано антропогенными факторами [1, 18]. Наличие этих общих закономерностей позволяет проанализировать сложившуюся обстановку и тенденцию ее изменения в перспективе, а следовательно, наметить основные принципиальные пути решения проблем.

На базе методики почвенно-экологической оценки природных систем И.П. Айдарова и В.Х. Хачатурьяна разработана система оценки экологических ситуаций природной среды, состоящей из трех блоков: параметры природной среды, параметры ухудшения свойства деятельности природной системы, оценка экологической ситуации природной среды [1, 18].

На основе предложенного методологического подхода оценки состояния природной системы, экологическое районирование ландшафтно-географических зон можно произвести по приведенным коэффициентам негативной реакции на техногенные воздействия (NR — для человека; Pr — для среды обитания): $\overline{NR} = NR / NR_{max}$; $\overline{Pr} = Pr / Pr_{max}$ (таблица 7).

Величина \overline{NR} и \overline{Pr} изменяется от 0 до 1, причем возрастание коэффициентов свидетельствует об ухудшении ситуации.

Приближенные зависимости для оценки этих параметров имеют вид:

$$\overline{NR} = \left(\sum_i \overline{D}_i \cdot q_x \right) \sum_i E_i(r),$$

$$\overline{Pr} = \left(1 - \frac{\overline{D}_{\omega}}{D_{pb}} + q_x \right) \sum_i \beta \cdot \overline{E}_i(k),$$

где \overline{D}_i — включает заражение воздуха дефолиантами, использование подземных вод, загрязненных ядохимикатами, на питьевое водоснабжение и ухудшение качества воздуха при наличии в зоне техногенных выбросов от промышленных объектов; \overline{D}_{ω} — использование на орошение речных вод; \overline{D}_{ω} — то же возвратных вод; \overline{E}_i — частные параметры ухудшения свойства

компонентов (для человека это - динамика болезней, связанных с потреблением загрязненной воды и зарядением воздуха - $\bar{E}_i(r)$, для почвы и сельскохозяйственной культуры - содержание в почве токсичных солей, для грунтовых вод - повышение их минерализации и уровня - $\bar{E}_i(k)$; β^* - поправочный коэффициент (для почв и грунтовых вод $\beta^* > 1$, сельскохозяйственных культур $\beta^* = 1$); q_x - интенсивность поступления ядохимикатов и нитратов в почвы и грунтовые воды.

Таблица 7
Экологическое районирование ландшафтно-географических зон Казахстана

Природные зоны	\bar{R}	\overline{NR}	\overline{Pr}			ΔE_i
			почва	вода	растения	
Лесостепь	0,80	0,20	0,30	0,11	0,20	0,32
Степь	1,00	0,30	0,35	0,24	0,25	0,40
Полупустыня	1,80	0,35	0,45	0,20	0,30	0,45
Пустыня северная	2,80	0,45	0,55	0,32	0,45	0,50
Пустыня южная	3,00	0,65	0,70	0,52	0,50	0,85
Предгорная полупустыня	2,00	0,55	0,60	0,45	0,45	0,65
Предгорная степь	1,50	0,35	0,50	0,40	0,40	0,45
Горные степи и леса	1,20	0,16	0,15	0,33	0,20	0,16

Величины $\bar{E}_i(k)$ оцениваются по формуле:

$$\bar{E}_i(k) = F_o(k) / F_i(k),$$

где $F_o(k)$ и $F_i(k)$ - площади, характеризующие свойства компонентов (засоление, уровень грунтовых вод и др.) на природную систему соответственно в t_1 и t_0 .

Интенсивность поступления ядохимикатов и нитратов в грунтовые воды (q_x^w) и в почву (q_x^n) оцениваются по эмпирическим зависимостям [18]:

$$q_x^w = 1 - q_x^n,$$

$$q_x^n = \exp[-(\alpha \cdot q_w + 1 / R_\phi)],$$

где α - постоянная, зависящая от вида ядохимикатов; q_w - интенсивность инфильтрационного питания (в долях от нормы); R_ϕ - инфильтрационное сопротивление.

Оценку экологического состояния объекта приближенно можно выполнить, используя имеющиеся проработки [18], по зависимостям:

$$\bar{E} = 1 - q_s^* = 1 - \exp[-(\alpha \cdot q_w + p_1)],$$

где p_1 - параметр, характеризующий комплекс природных условий.

Таким образом, приоритетность природопользования и природообустройства для каждой природно-климатической или ландшафтно-географической зоны определяются на основе комплексной и многоцелевой оценки создания природно-деятельностной системы (ДПС) для повышения уровня организации ландшафта. При этом возможное преобразование природной системы во многом зависит от географического положения, способности ландшафта противостоять антропогенной нагрузке, целесообразности регулирования биологического и геологического круговорота для поддержания экологического равновесия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдаров И.П. Регулирование водно-солевого и питательного режимов орошаемых земель. - М., Агропромиздат, 1986.
2. Будыко М.И. Климатические условия увлажнения на материках/ Изв. АН СССР, сер. геогр., 1965, № 2, 4.
3. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. - М. Наука, 1974.
4. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды. - Избранные теоретические работы. М., Мысль, 1966.
5. Докучаев В.В. К учению о зонах природы. Тифлис, 1899.
6. Иванов Н.Н. Зоны увлажнения земного шара. - Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофизич., 1941 № 3.
7. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведение и физико-географическое районирование. - М.: Высшая школа, 1965.
8. Кирейчева Л.В., Решеткина Н.М. Концепция создания устойчивых мелиорированных агроландшафтов. - М., 1997.
9. Мезенцев В.С. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиорации степного края. - М., Колос, 1974.

10. Мильков Ф.Н. Сельскохозяйственные ландшафты, их специфика и классификация // Вопросы географии. № 124. – М.: Мысль, 1984.
11. Михно В.Б. Ландшафтно-экологические основы мелиорации. – Воронеж: ВГУ, 1995.
12. Мустафаев Ж.С. и др. Математическое моделирование формирования и функционирования водохозяйственных систем. – Тараз, 2000.
13. Мустафаев Ж.С. Почвенно-экологическое обоснование мелиорации сельскохозяйственных земель в Казахстане. - Алматы, 1997.
14. Мустафаев Ж.С., Козыкеева А.Т., Ахметов Н.Х. Методологические основы оценки эколого-мелиоративного потенциала орошаемых земель // Наука и образование Южного Казахстана, 2000, № 21, С.35 - 36.
15. Мустафаев Ж.С., Кудайбералиева З.Б. Обоснование энергетических ресурсов орошаемого земледелия // Проблемы экологии АПК и охрана окружающей среды. - Усть-Каменогорск, 2000.
16. Парфенова Н.И., Решеткина Н.М. Экологические принципы регулирования гидрогеохимического режима орошаемых земель. – Санкт-Петербург: Гидрометеониздат, 1995.
17. Селянинов Г.Т. Специализация сельскохозяйственных районов по климатическому признаку. – «Растениеводство СССР», т. 2, ч.1, Сельхозгиз, 1937.
18. Хачатурьян В.Х., Айдаров И.П. Концепции улучшения экологической и мелиоративной ситуации в бассейне Аральского моря // Мелиорация и водное хозяйство. - М., 1990, №12, С. 5 - 12; 1991, №1, С. 2 - 9.
19. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М., Колос, 1967.

ТАБИҒИ ЖҮЙЕНІ ЛАНДШАФТЫ-ЭКОЛОГИЯЛЫҚ АУДАНДАСТЫРУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ

Техн. ғылымдарының докт. Ж.С. Мустафаев
Техн. ғылымдарының канд. С.И. Өмірзақов
Техн. ғылымдарының канд. А.Т. Қозыкеева

Табиғи жүйені ландшафты-экологиялық аудандастырудың әдістемелік негіздері жасалған, олардың ішіне физика-географиялық, топырақ-экологиялық, топырақ-гидрогеохимиялық, топырақ-мелиоративті, биоэнергетикалық және экологиялық негіздер енген. Оның негізіне табиғаттың бірлігі және біртұтастығы, табиғи процестердің өзара байланыстылығы мен өзара шартталуы принциптері алынды.

УДК 504.064.2:551.461.2 (262.8)

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ КАСПИЙСКОГО
МОРЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Канд. экон. наук

К Б Исентаев

Е. А. Каменев

Канд. геогр. наук

И. И. Скоцеляс

Приведены данные о затоплении территории казахстанской части побережья, хозяйственных объектов и месторождений нефти, расположенных на ней, о загрязнении почв и морской акватории при повышении уровня воды Каспия, наступившем в 1978 году, о сложившейся при этом санитарно-эпидемиологической обстановке. Оценены также ущербы, которые могут быть причинены экономике побережья при дальнейшем подъеме уровня моря.

Каспийское море - крупнейший бессточный водоем мира, характеризующийся большим размахом многолетних колебаний уровня воды. Его побережье отдельными частями входит в состав Российской Федерации, Казахстана, Азербайджана, Туркменистана и Ирана. В настоящее время море находится в стадии трансгрессии, оказывающей значительное влияние на окружающую среду. Особенно это относится к северо-восточному, казахстанскому, сектору моря и побережья.

Казахстанская часть побережья Каспийского моря включает приморские территории Атырауской и Мангистауской областей. Здесь проживает 616 тыс. человек, или 77 % всего населения Атырауской и Мангистауской областей. Наиболее крупными населенными пунктами являются города Атырау и Актау, соответственно 142,1 и 176,3 тыс. жителей.

Атырауская и Мангистауская области богаты минерально-сырьевыми ресурсами - нефтью, газом, битумами, строительными материалами и т. д. На базе существующих месторождений полезных ископаемых в этих областях сформировался важный для Республики Казахстан хозяйственный комплекс, состоящий из предприятий нефтегазодобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, горнометаллургической, энергетической, рыбной промышленности, а также стройиндустрии. Определенное

развитие получили сельское хозяйство, транспортная и инженерная инфраструктура.

Современная трансгрессия Каспия началась в 1978 году с отметки минус 29,16 м. Летом 1991 года фоновый уровень моря достиг отметки минус 27 м. При этом уровне было затоплено 10 тыс. км² земель, в том числе потеряно 3570 км² сельскохозяйственных угодий. В полосу частичного затопления попали г. Актау и р. п. Баутино. В зоне воздействия ветровых нагонов оказались 20 населенных пунктов Атырауской области и три рабочих поселка Мангистауской области - Умирзак, ВНР, Курык. В той или иной мере влиянию моря подверглись 28 месторождений нефти и газа и 2 месторождения кормовой ракушки.

Экономический ущерб при отметке минус 27 м составил 1083 млн долл. США. Особенно сильно пострадало сельское хозяйство, ущерб в котором достиг 679 млн долл. В нефтедобывающей отрасли потери составили 200, в социальной инфраструктуре - 204 млн долл.

При современных отметках уровня воды море оказывает влияние на работу Актауского морского порта, затрудняя использование существующих причалов, нефтеналивных пирсов, подъездных путей. Достаточно реальна угроза затопления водозаборных и водосбросных сооружений Мангистауского атомного энергокомбината, ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 в г. Атырау.

Наступление моря на сушу обусловило подпор подземных вод, в результате чего уменьшилась их разгрузка в Каспий, повысился уровень грунтовых вод, на узкой приморской полосе появились заболоченные участки [2]. Местами начался процесс засоления земель. В г. Атырау из-за неглубокого залегания грунтовых вод произошло подтопление фундаментов зданий и затопление подвальных помещений. Подтопленной оказалась часть территории и в других населенных пунктах.

Почвы побережья Северо-Восточного Каспия загрязнены нефтью. Концентрация нефтепродуктов почти повсеместно достигла 1... 5 г/кг, а в отдельных местах - порядка 10... 30 г/кг. Особенно неблагоприятны в этом отношении районы нефтепромыслов. Из-за несовершенства технологии добычи нефти и производственных аварий вокруг промыслов образовывались довольно крупные по размерам нефтяные пятна. Так, на промысле Корсак почвы сильно были загрязнены на площади 6 км², на промысле Теренозек - в радиусе 10... 15 км.

В почвах обнаружены также высокие концентрации никеля, свинца, цинка, кобальта, молибдена, хрома, фосфора. Концентрации большинства из перечисленных токсикантов при взятии проб составляли от 50 до 100 мг/кг. Повышенное содержание цинка и свинца, в 2 раза больше предельно допустимых концентраций (ПДК), выявлено, в частности, у пос. Аккыстау. В устье р. Урал концентрация цинка и кобальта превышала ПДК в 2 раза, свинца - в 1,5 раза.

Достаточно широкий спектр загрязняющих веществ выявлен в морской воде. Это - нефть, нефтепродукты, фенолы, ДДТ, хлорорганические пестициды, амонийный азот, тяжелые металлы. Содержание этих веществ возрастало по мере увеличения загрязненности ими поступающих в море речных вод и хозяйственного освоения территории побережья и акватории моря. Особенно значительно загрязнение морской воды усилилось в период подъема уровня моря. В Каспий дополнительно были вовлечены загрязняющие вещества с затопленной части побережья и смытые с местности, оказавшейся в зоне влияния стонов-нагонов, имевших место при более высоком, чем ранее, фоне уровня поверхности моря. В результате этого концентрация нефтепродуктов в восточной части Северного Каспия в период повышения уровня моря увеличилась до 4. . . 7, фенолов - до 4. . . 9 ПДК. Максимальные концентрации нефтепродуктов отмечались после крупных нагонов (ноябрь 1989 г., март 1990 г.) и достигали 25. . . 32 ПДК. Наибольшее содержание фенолов, составлявшее 8. . . 14 ПДК, наблюдалось на взморье Волги и Урала. Поступление ДДТ также связано со стоком этих рек, загрязнение которых данным веществом равно 0,015 мг/л.

Среди тяжелых металлов, представляющих особую опасность для экосистемы моря из-за способности их соединений не разлагаться в воде и накапливаться в живых организмах, растительности и донных отложениях, наибольший рост концентрации пришелся на медь, цинк, свинец, кадмий - соответственно в 11,5, 9,8, 5,6 и 4,9 раза. До 3 ПДК возросло содержание ртути.

Загрязнение морской акватории и побережья продолжается и при наступившей относительной стабилизации уровня моря. Об этом, в частности, свидетельствует допущенная в последнее время крупная утечка нефти на нефтепромысле Тажигили Юго-Западное.

На побережье сложилась сложная санитарно-эпидемиологическая обстановка. По сравнению с 1988 годом в полтора раза увеличилась общая заболеваемость населения. Особенно возросло число случаев с болезнями органов пищеварения, болезней крови, кожи и подкожной клетчатки. Кроме этого, у детей высока заболеваемость системы кровообращения, язвой желудка и 12-перстной кишки, железодефицитной анемией. Среди населения и животных распространены многие виды инфекционных заболеваний (туберкулез, бруцеллез, гепатит и др.) и злокачественные новообразования. Более частыми стали врожденные аномалии, болезни нервной системы и органов дыхания. Такая ситуация возникла в связи с активизацией некоторых природных очагов инфекций (тифа, туляремии и т. д.), увеличением загрязненности окружающей среды, дефицитом питьевой воды нормального качества, отсутствием канализации и водоочистных сооружений в большинстве населенных пунктов, низким уровнем медицинского обслуживания.

В Каспийском море отмечалось много случаев крупных моров рыбы, резко сократились запасы осетровых рыб в р. Урал и протоке Кигач в дельте Волги. Из-за ухудшения условий обитания, обусловленного загрязнением морских и речных вод, а также в результате браконьерства возникла реальная угроза потери естественного маточного стада осетровых рыб, что может привести к исчезновению их как биологического вида. В примерно 10 % выловленных рыб обнаружены явные признаки заболеваний. Кроме того, в последнее время наблюдалась массовая гибель тюленей.

Как показало моделирование уровня Каспия, проводившееся в Казахском научно-исследовательском институте мониторинга окружающей среды и климата [1], в случае удвоения концентрации диоксида углерода CO_2 в земной атмосфере фоновый уровень моря к 2050 году может подняться до отметки минус 22 м и выше. Дальнейший рост уровня моря приведет к еще более значительным отрицательным последствиям. В зоне затопления дополнительно окажутся новые территории, населенные пункты, хозяйственные объекты (табл.1). Большая часть их располагается в Атырауской области.

При уровне моря минус 26 м в Атырауской области будет затоплена территория площадью 2570 км². В основном это сельскохозяйственные угодья, занимающие 2090 км². Из них 1892 км² приходятся на пастбища. В

зону затопления попадут 140 км² орошаемых земель и 30 зимовок скота. На затопленной территории окажутся 18 населенных пунктов, в которых проживает 25,3 тысяч человек. Полному или частичному затоплению подвергнутся 20 месторождений нефти. Море затопит также 25-километровый участок нефтепровода, расположенный в северной части побережья между месторождениями Мартыши - Камышитовое Юго-Западное.

Таблица 1

Показатели затопления территории, населенных пунктов и хозяйственных объектов при дальнейшем повышении уровня моря

Характеристика затопления	Единица измерения	Уровень моря, м		
		-26	-25	-22
Территория	км ²	12140	22370	39200
в т. ч. сельхозугодья	"	2310	5690	
Населенный пункт	штук	24	73	111
Численность населения	тыс. чел.	52	380	442
Месторождение нефти и газа	штук	25	38	43
Промышленный объект	"		20	20
Аэропорт	"	2	6	6
Морской порт	"		2	2
Зимовка скота	"	31	79	175
Рыбохозяйственный объект	"		10	10
Оросительная система	км ²	140	280	380
Железная дорога	км		214	378
Автомобильная дорога с твердым покрытием	"		255	500
Местные дороги	"	50	150	204
Нефтепровод	"	25	285	642
Газопровод	"		160	168
Водопровод	"		317	317
Линия электропередачи	"		918	918

В Мангистауской области подъем уровня моря до отметки минус 26 м приведет к затоплению 9570 км² территории побережья. Из этой территории в сельском хозяйстве используется только 224 км² земель, причем полностью под пастбища. Основная часть освоенных земель находится в районе г. Форт-Шевченко. В зону частичного затопления попадут также

шесть населенных пунктов с общей численностью населения 26,9 тысяч человек. В акватории моря окажутся 5 месторождений нефти и газа, одна зимовка скота, 2 аэропорта местных воздушных линий (Каламкас и Каражанбас).

При повышении уровня моря до отметки минус 25 м затопленная территория в Атырауской области увеличится до 5340 км², в Мангистауской - до 11030 км². Сельскохозяйственные угодья в пределах этих площадей занимают соответственно 5027 и 665 км². В основном это пастбища, на которых имеется 79 зимовок скота, из них 77 в Атырауской области.

Количество городских и сельских населенных пунктов, попадающих в зону затопления при уровне моря минус 25 м, в Атырауской области увеличится на 49 и достигнет 67. В частности, в этой зоне дополнительно окажется г. Атырау. В Мангистауской области затопленными будут только те населенные пункты, что и при отметке минус 26 м.

Общая численность населения, проживающего в настоящее время в зонах возможного затопления при уровне моря минус 25 м, составляет 379,7 тыс. человек, из них 337,8 тыс. в Атырауской области.

В пределах зоны возможного затопления при уровне моря минус 25 м будут находиться крупные промышленные объекты: в г. Атырау - ТЭЦ, химический, нефтеперерабатывающий, судоремонтный и молочный заводы, мясокомбинат, домостроительный и рыбконсервный комбинаты, швейная фабрика; в г. Актау - ТЭЦ-2, базы строительных организаций. В акватории моря могут оказаться аэропорты в г. Атырау, с. Курмангазы, поселках Сарыкамыс и ВНР, морские порты в г. Актау и р. п. Баутино, участки железных и автомобильных дорог, нефте- и газопроводов, линий электропередач.

В зону затопления при уровне моря минус 25 м попадет 38 месторождений нефти и газа (29 в Атырауской и 9 в Мангистауской областях). В их число войдут и самые крупные месторождения - Тенгизское, Королевское, Северное Бузачи, Каламкас.

При достижении уровнем моря отметки минус 22 м затопленная территория в Атырауской области составит 23 тыс. км². На этой территории располагаются 103 населенных пункта с общим количеством жителей 389,9 тыс. человек, 32 месторождения нефти и газа, 170 зимовок скота. Затопленными могут оказаться 378,5 км железных дорог, 420 км автомо-

бильных дорог с твердым покрытием, 562,5 км нефтепроводов, 167,5 км газопроводов, 300 км водопроводов, 782 км линий электропередач.

В Мангистауской области акватория моря при уровне минус 22 м распространится на 16,2 тыс. км². В пределах этой части побережья размещаются 8 населенных пунктов с 52,3 тыс. жителей, 11 месторождений нефти и газа, 5 зимовок скота. При этом населенные пункты, как и при меньших уровнях моря, могут подвергнуться только частичному затоплению. Существенных изменений по сравнению с теми, которые возможны при уровне минус 25 м, не произойдет также в затоплении коммуникаций.

В табл. 2 приведены данные укрупненной оценки экономических ущербов, которые могут быть нанесены отраслям хозяйства при дальнейшем повышении уровня моря.

Таблица 2

Возможный экономический ущерб отраслям хозяйства при дальнейшем повышении уровня моря, млн долл. США

Отрасль хозяйства	Диапазон изменения уровня моря, м			
	-27...-26	-26...-25	-25...-22	Всего
Промышленность	461	1 614	231	2 306
Нефтедобыча	375	600	715	1 690
Энергетика	351	1 227	175	1 753
Транспорт и связь	2	589	391	982
Сельское хозяйство	1238	3 715	560	5 513
Социальная инфра- структура	401	1 202	196	1 799
Нефтегазопроводы	6	87	89	182
Всего	2 834	9 034	2 357	14 225

При оценке этих ущербов учитывалась стоимость потерь основных фондов в различных отраслях экономики, земельных ресурсов и полезных ископаемых, а также затраты, необходимые для создания новых производств, жилья, объектов здравоохранения, торговли, социально-бытового и культурно-просветильского назначения взамен затопленных. При оценке ущербов в нефтегазодобывающей отрасли предполагалось, что затопленные месторождения будут разрабатываться с платформ, установленных на морском дне. Поэтому эти ущербы определялись исходя из разницы стои-

мости добычи углеводородного сырья на море и суше, составляющей 7 долларов США на тонну.

По данным табл. 2, ущерб экономике побережья при повышении уровня моря от минус 27 до минус 26 м составит 2834 млн долл. При достижении уровнем моря отметки минус 25 м ущерб возрастет до 11868, а при уровне минус 22 м увеличится до 14225 млн долл.

Самые большие потери, исчисляемые 9034 млн долл. (63,5 % общего ущерба), придется на диапазон изменения уровня моря минус 26 - минус 25 м. Среди отраслей экономики при затоплении побережья до отметки минус 25 м наибольший ущерб (41,7 % или 4953 млн долл.) может быть причинен сельскому хозяйству. В промышленности при этой отметке ущерб составит около 2075 (17,5 %), в энергетике - 1578 (13,3 %), в нефтедобывающей отрасли - 975 млн долл. (8,2 %). Примерно такого же порядка размер потерь будет и в социальной инфраструктуре - 1603 млн долл. (13,5 %). При этом, как отмечено выше для побережья в целом, основная часть ущерба придется на диапазон изменения уровня моря минус 26 - минус 25 м. Выше отметки минус 26 м резко увеличится также ущерб из-за потерь на транспорте.

Большую опасность для побережья могут представлять и ветровые наганы. При катастрофических наганах в зону их влияния попадут населенные пункты, хозяйственные объекты, сельскохозяйственные угодья, расположенные на 2,0 - 3,0 м выше фонового уровня моря.

Дальнейший подъем уровня Каспия может еще больше ухудшить экологическую обстановку на побережье. Для экосистемы моря очень опасна возможность роста загрязнения морской воды, особенно нефтью и нефтепродуктами, в связи с увеличением количества нефтепромыслов, попадающих в зону влияния моря и нагонов. В случае непринятия необходимых защитных мероприятий неизбежны будут переселение населения, миграция диких животных, обнажение природных инфекционных очагов и образование новых. Это приведет к еще большему распространению различных заболеваний.

Таким образом, последствия дальнейшего наступления моря на побережье могут быть очень тяжелыми. Особенно большую тревогу должна вызывать возможность затопления части территории Атырауской области, расположенной между отметками местности минус 26 и минус 25 м, где сосредоточены многие населенные пункты и хозяйственные объ-

екты. В связи с изложенным очевидно также, что для обеспечения нормальных условий жизни населения и устойчивой работы хозяйственных объектов потребуется осуществление большого комплекса адаптационных мер.

Предлагаемый вариант защиты казахстанской части побережья Каспийского моря от дальнейшего повышения уровня воды и оценка необходимых для его осуществления капиталовложений опубликованы в виде резюме для лиц, определяющих социально-экономическую и природоохранную политику Республики Казахстан [1]. Более подробно концепция защиты изложена в Технико-экономическом докладе по проблеме Каспия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка воздействий изменения климата и мер адаптации для прибрежной зоны Каспийского моря и горных районов Южного и Юго-Восточного Казахстана: (Резюме для лиц, определяющих социально-экономическую и природоохранную политику) / Казахский научно-исследовательский институт мониторинга окружающей среды и климата. - Алматы, 2000. - 49 с.
2. Сыдыков Ж. С., Голубцов В. В., Куандыков Б. М. Каспийское море и его прибрежная зона. - Алматы: Өлке, 1995. - 211 с.

Временный творческий коллектив "Казахстан - Каспий",
Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

КАСПИЙ ТЕҢІЗІНДЕГІ СУ ДЕҢГЕЙІ КӨТЕРІЛУІНІҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ӘСЕРІ

Эконом.ғылымдарының канд. К.Б. Исентаев
Е.А. Каменев
Геогр.ғылымдарының канд. И.И. Скоцеляс

Жағалаудың қазақстандық бөлігі аймағын, онда орналасқан шаруашылық объектілерді және мұнай кенорындарын су басуы, 1978 ж. Каспий суы деңгейінің көтерілуі жағдайында топырақ пен теңіз акваториясының былғануы, сол кезде туындаған санитария-эпидемиологиялық жағдай туралы мәліметтер келтірілген. Сонымен қатар су деңгейінің әрі қарай көтірелуі жағалау экономикасына келтіруі мүмкін шығындар бағаланған.

УДК: 543.27.76

**СОДЕРЖАНИЕ 3,4-БЕНЗПИРЕНА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ
Г. АЛМАТЫ.**

Канд. биол. наук Г.Д. Садыкова

Представлены данные по содержанию приоритетного канцерогенного вещества 3,4-бензпирена в атмосферном воздухе города Алматы. Рассмотрены сезонные изменения содержания полициклических ароматических углеводородов в воздухе города.

В комплексе проблем охраны окружающей среды от загрязнения антропогенными источниками особая роль принадлежит наиболее вредным и токсичным примесям, действующим на здоровье людей. И в первую очередь химическим канцерогенам, количество и повсеместное распространение которых возрастает во всём мире особенно с развитием теплоэнергетики и металлургической промышленности.

Полициклические ароматические углеводороды обладают канцерогенными и мутагенными свойствами, среди которых 3,4-бензпирен обладает низким порогом действия. 3,4-бензпирен, как и другие полициклические ароматические углеводороды, выделяется в воздух при сжигании любых видов топлив, даже при сжигании природного газа [1, 3, 5]. Попадая в атмосферу адсорбированным на частицах сажи, пыли или с выхлопными газами, 3,4-бензпирен обнаруживается в высоких концентрациях на больших расстояниях от источников загрязнения. Из воздуха он оседает на почву и прочно связывается с почвенными частицами. Известно, что к числу экологических цепей, по которым возможно поступление 3,4-бензпирен из почвы в организм человека, относятся: почва – сельскохозяйственные растения – животные – человек; почва – растительные продукты – человек; почва – открытый водоем – водные растения – рыба – человек. В условиях мощного химического прессинга на урбанизированных ландшафтах мониторинг за содержанием полициклических ароматических углеводородов в объектах природной среды приобретает все большую актуальность [10].

3,4-бензпирен, отнесён по классификации ВОЗ к 1 классу опасности (вещества чрезвычайно опасные). 3,4-бензпирен принято считать ин-

дикатором канцерогенности конкретной среды, поскольку его наличие подразумевает содержание в ней и других канцерогенных полициклических ароматических углеводородов - бенз(е)пирена, бен(ghi)перилена, 1,2-бензантрацен и др. [11].

Алматы является самым крупным городом РК по численности населения, количеству автотранспорта и промышленных предприятий. Город находится в котловине, загороженный с юга горами Заилийского Алатау, и поэтому очень плохо проветривается. Облако смога, постоянно находящееся над городом делает крайне необходимым постоянный контроль качества воздуха. В Алматы большой автотранспортный парк, выбросы которого в значительной мере загрязняют атмосферу города. Как показывает ряд исследований, выбросы автотранспорта во многих городах мира вносят до 90% загрязнения воздуха. Особенно опасны выхлопные газы автомобилей, не имеющих каталитического нейтрализатора газов, старые и изношенные двигатели. В ряде европейских стран эксплуатация автомобилей, не имеющих каталитического нейтрализатора газов, запрещена в целях защиты воздушного бассейна населенных пунктов. В Алматы автотранспорт в основном старый и поэтому выхлопные газы от таких автомобилей характеризуются высоким содержанием вредных веществ, в том числе и полициклических ароматических углеводородов. При отсутствии проветривания атмосферы города выбросы автотранспорта являются основными загрязнителями воздуха в летние месяцы. В холодное время года двигатели предварительно прогревают, что ведет к увеличению вредных веществ в выхлопных газах.

В Алматы ведется многолетний контроль качества воздуха по ряду загрязнителей, таких как оксиды углерода, азота, серы, пыли, формальдегида, фенола. Ранее проводились исследования воздушной среды некоторых городов Казахстана на содержание 3,4-бензпирена, данные по г. Алматы представлены на рис. 1 и в табл. 1. [6]. Согласно этим данным воздух города Алматы всегда характеризовался высоким содержанием 3,4-бензпирена. Вследствие методической сложности количественного определения полициклических ароматических углеводородов, анализ воздуха на содержание этих приоритетных загрязнителей проводился сначала в Москве и позднее в Ташкенте. Пробы отбирались раз в месяц эпизодически, что не давало возможности объективно анализировать состояние загрязненности воздушного бассейна городов Казахстана этими особо опасными веществами. В центре мониторинга загрязнения природной среды

при РГП «Казгидромет» начаты работы по наблюдению за загрязнением воздуха г. Алматы полициклическими ароматическими углеводородами, что даст возможность получения репрезентативной оценки состояния загрязнения атмосферы.

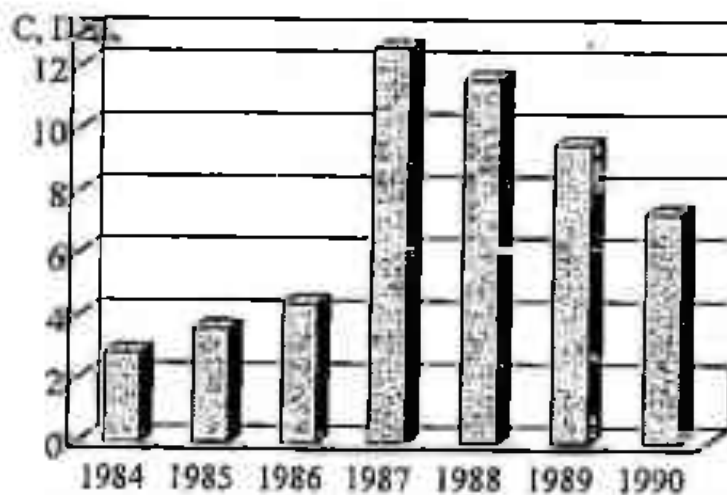


Рис. 1. Содержание 3,4- бензпирена в воздухе г. Алматы в единицах ПДК

По данным многолетних наблюдений полученных в предыдущие годы, можно сделать вывод о том, что воздух г. Алматы отличался высоким содержанием 3,4-бензпирена, а следовательно и полициклических ароматических углеводородов. Максимально разовые концентрации 3,4-бензпирена были зарегистрированы в воздухе г. Алматы 33,5 ПДК в 1988 г. Длительный период с 1992 г. определение содержание 3,4-бензпирена в воздухе населенных пунктов Казахстана не проводилось. Количественное определение содержания полициклических ароматических углеводородов в природных объектах довольно сложная методическая задача, требующая дорогостоящего оборудования. Поскольку ПДК для 3,4-бензпирена очень низкое, то для его определения рекомендованы методы газовой, жидкостной хроматографии и метод квазилинейных спектров люминесценции. Некоторыми исследователями используются другие методы – вольт амперметрическое определение, тонкослойная хроматография, масс-спектрометрия и т.д. [4]. У всех этих методов имеется ряд недостатков. Агентством по охране окружающей среды США принято определение полициклических ароматических углеводородов методами газовой или жидкостной хроматографии высокого давления, как наиболее достоверных и чувствительных. Эти методы также используются в ряде развитых стран в целях контроля содержания полициклических аромати-

ческих углеводородов в объектах окружающей среды, особенно в атмосферном воздухе.

Основная задача исследований состояла в определении загрязненности воздуха г. Алматы 3,4-бензпиреном. Обследование проводилось на трех постах, расположенных в различных районах города:

№ 1 – в юго-восточной части города за зданием Казгидромета, классификация – промежуточная городская станция;

№ 12 – в центре города, рядом с основным загруженным проспектом Раимбека, классификация – центральная придорожная станция;

№ 25 – в западной части на окраине города ул. Б. Момыш-улы, довольно населенный район с некоторым промышленным загрязнением, классификация – городская станция.

Отбор проб и дальнейшую пробоподготовку проводили по стандартной методике [8]. Конечные экстракты анализировали на жидкостном хроматографе высокого давления (HPLC) фирмы "Hewlett-Packard" HP1100, укомплектованным УФ- и флуорисцентным детектором. Разделение проводили на колонке 100×2,1 мм ODS Hypersil 3μм фирмы "Hewlett-Packard". Сигналы полициклических ароматических углеводородов регистрировали при 290 нм. Количественное определение проводили по стандартной методике [2]. Пробы воздуха на содержание 3,4-бензпирена отбирались на фильтры АФА-15 с использованием аспираторов:

- в течение 20 минут трижды в день на отдельные фильтры объемом 2 м³;
- на один фильтр в течение недели как и в предыдущем случае.

Элюирование полициклических ароматических углеводородов с фильтров проводили гексаном. Гексановые экстракты упаривали досуха при комнатной температуре, остаток растворяли в ацетонитриле, очищали ацетонитриловые экстракты на микроколонках с оксидом алюминия и далее анализировали на хроматографе. Полученные данные представлены на гистограммах.

Пост №1 - промежуточная городская станция, находится вблизи автозаправочной станции, окружен частными домостроениями и поэтому характеризуется высокой степенью загрязненности воздуха. Максимально разовая концентрация 3,4-бензпирена на этом посту наблюдалась в августе 2000 г. на уровне 178 ПДК. Причиной столь высоких концентраций 3,4-бензпирена является наличие в районе поста неорганизованных источников загрязнения – сжигание мусора, автозаправочная станция. В целом этот пост можно охарактеризовать как наиболее загрязненный

3,4-бензпиреном, поскольку он находится в фактически не проветриваемом районе в южной части города. Среднемесячные показатели по содержанию 3,4-бензпирена в воздухе колеблются от 0,25 ПДК в сентябре до 21,49 ПДК в ноябре. На рис.2 показано изменение концентраций 3,4-бензпирена в воздухе на посту наблюдения №1.

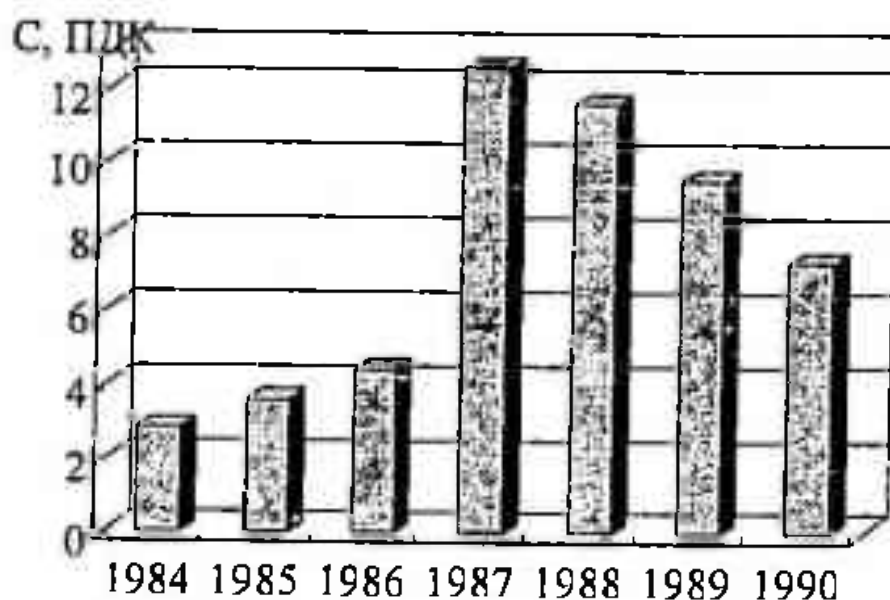


Рис. 1. Содержание 3,4- бензпирена в воздухе г. Алматы в единицах ПДК

Центральный придорожный пост №12 характеризуется выбросами автотранспорта и теплоэлектростанции ТЭЦ-1, находящейся в этом районе. На рис. 3. представлены данные по содержанию 3,4-бензпирена в воздухе на придорожном посту №12. По представленным данным видно, что здесь наблюдаются сезонные изменения в воздухе концентрации 3,4-бензпирена. Так в теплое время года концентрации 3,4-бензпирена в атмосферном воздухе на этом посту были в пределах нормы – 0,43 ПДК в августе, 0,185 ПДК в сентябре, 0,311 ПДК в октябре. С началом холодов произошло резкое увеличение содержание 3,4-бензпирена в воздухе – 2,24 ПДК в ноябре, 5,6 ПДК в декабре.

Другими организованными источниками загрязнения полициклическими ароматическими углеводородами являются различные объекты, в которых сжигается топливо – котельные, различные отопительные системы частных домовстроений, теплоэлектростанции и др. При переходе к отопительному сезону наблюдается резкое скачкообразное увеличение концентрации 3,4 – бензпирена в воздухе города. Как видно на рис. 4 при начале отопительного сезона происходит увеличение концентрации

3,4 –бензпирена в воздухе в несколько раз. На посту 25 – микрорайон Аксай в октябре 2000 г. содержание 3,4-бензпирена было на уровне 1,1 ПДК, в ноябре месяце произошло резкое увеличение до 8,52 ПДК, в разгар отопительного сезона в декабре концентрация 3,4-бензпирена увеличилась до 15,26 ПДК.

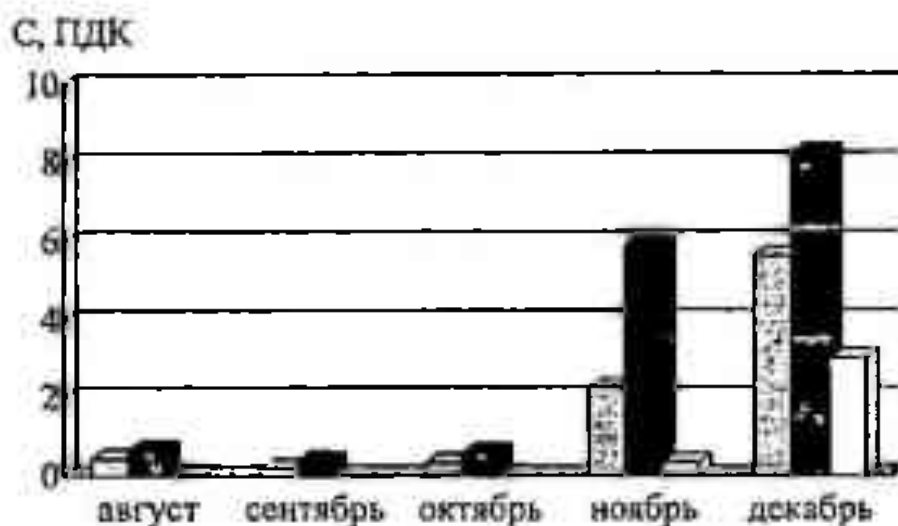


Рис. 3. Содержание 3,4-бензпирена в воздухе на посту №12 в единицах ПДК

Условные обозначения см. на рис.2

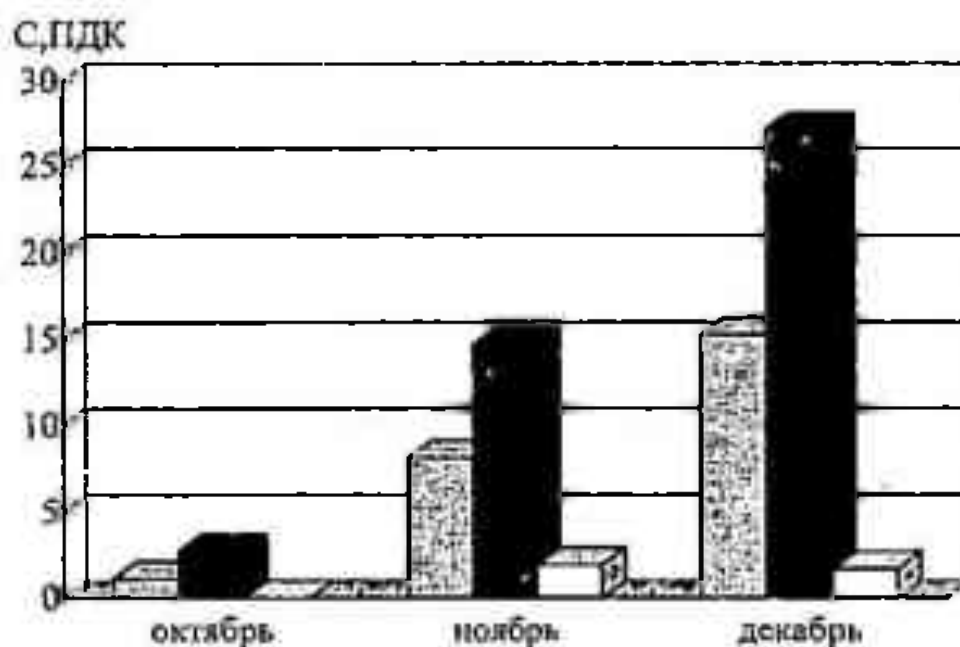


Рис. 4. Содержание 3,4-бензпирена в воздухе поста №25 в единицах ПДК.

Условные обозначения см. на рис.2.

Увеличение концентрации 3,4-бензпирена в микрорайоне Аксай связано с наличием в этом районе частного сектора. Отопление частного сектора автономными печами вносит большой вклад в загрязнение атмосферы. Частные домостроения начинают отапливаться раньше, чем дома центрального отопления и во многих случаях печи в таких домах работают в режиме неполного сгорания топлива. Сжигание топлива при недостатке воздуха приводит к резкому увеличению сажеобразования, а, следовательно, к увеличению выбросов полициклических ароматических углеводородов, в том числе и 3,4-бензпирена, что и наблюдается в микрорайоне Аксай.

Довольно большой вклад в загрязнение атмосферы города вносят и промышленные предприятия, в особенности автозаправочные станции, вблизи которых наблюдается высокое содержание 3,4-бензпирена не зависимо от сезонных изменений. На рис. 5 представлены данные о концентрации 3,4-бензпирена в атмосферном воздухе города Алматы за весь период проведения наблюдений в 2000 г. Среднегодовой показатель содержания 3,4-бензпирена по г.Алматы в 2000 г. – 5,3 ПДК. По сравнению с предыдущими годами содержание 3,4-бензпирена в воздухе г.Алматы осталось попрежнему высоким.

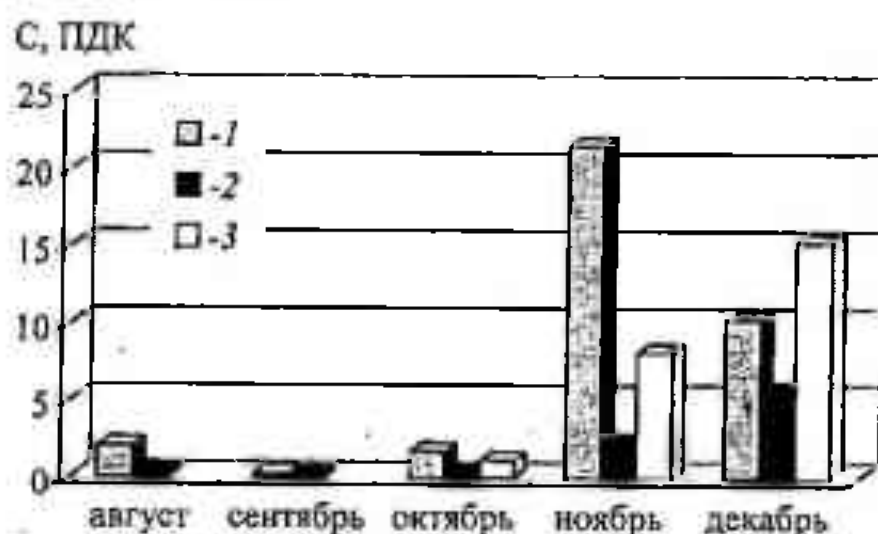


Рис. 5. Содержание 3,4-бензпирена в воздухе г. Алматы в единицах ПДК за 2000 г. 1 - пост №1; 2 - пост №12; 3 - пост №25

На долю 3,4-бензпирена приходится обычно всего 1% от общего количества полициклических ароматических углеводородов в воздухе. Поэтому по полученным данным можно сделать вывод о том, что содер-

жание полициклических ароматических углеводородов в атмосфере города Алматы на самом деле раз в 100 выше и может достигать до 2 мкг/м^3 . Высокий уровень полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе характерен для развивающихся стран, где для приготовления пищи и отопления используются дрова или уголь. Например, в Китае в некоторых регионах содержание 3,4-бензпирена достигает до 6 мкг/м^3 , в Индии до 4 мкг/м^3 [12]. В развитых странах максимальный уровень полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе городов был в прошлом веке. В настоящее время высокий уровень полициклических ароматических углеводородов в Европе характерен только для промышленных регионов, где производят кокс, и есть металлургические предприятия. Основным источником полициклических ароматических углеводородов на урбанизированных территориях развитых стран является автотранспорт. В атмосфере городов развитых стран содержание полициклических ароматических углеводородов не превышает ПДК, что обусловлено жесткими требованиями к эксплуатации автомобилей и наличию катализаторов в автомобильных двигателях.

Нужно учитывать также способность 3,4-бензпирена накапливаться в почве. Как показали исследования, при поступлении в почву 3,4-бензпирен подвергается разрушению в ходе биологических и химических процессов. Вместе с тем в почве присутствуют бактерии, способные накапливать 3,4-бензпирен. Как показали исследования, при внесении в почву 200 нг/кг 3,4-бензпирена только через 17 месяцев восстанавливается фоновый уровень, характерный для данного района. Остаточное количество 3,4-бензпирена сохраняется в почве длительное время и поэтому при наличии постоянных источников загрязнения происходит его накопление [7, 9]. При высоком содержании 3,4-бензпирена в воздухе города Алматы, следует ожидать его накопления в почве, особенно в районах золоотвалов тепловых электростанций, котельных, автомагистралей и бензозаправочных станций. Необходимо проводить работы по определению содержания полициклических ароматических углеводородов в почвах, так как это является показателем канцерогенности природной среды. В Англии, в настоящее время, содержание полициклических ароматических углеводородов в атмосферном воздухе значительно снизилось по сравнению с 19 веком. Но только в последние 50 лет исследователи этой страны наблюдают снижение концентрации полициклических ароматических углеводородов в почвах, удаленных от городов, деревенских ландшафтов. Это связано с посте-

пенным уменьшением использования и производства кокса, сжигания дров, развитием технологий очистки отводных газов и т.д. Такое загрязнение почв полициклическими ароматическими углеводородами, как и ионами тяжелых металлов, в Европе называют историческим и оно характерно фактически для всех развитых стран.

Загрязнение водных объектов 3,4-бензпиреном обусловлено попаданием сточных вод предприятий и поверхностного стока города. Попадая в водоемы, 3,4-бензпирен перераспределяется между водой и взвесью, а затем, осаждаясь, переходит в донные отложения. Поэтому низкая растворимость в воде и высокая степень адсорбции на взвешенных частицах во многом определяют уровни и концентрации 3,4-бензпирена в поверхностных водах [11]. Вследствие высоких концентраций полициклических ароматических углеводородов в воздухе Алматы следует предполагать наличие этого загрязнение и в водных объектах.

Таким образом, из полученных данных можно сделать вывод о том, что воздух г. Алматы в силу географического положения, метеорологических условий, наличия высокой техногенной нагрузки являлся и является наиболее загрязненным по многим показателям, в том числе и по 3,4-бензпирену. В природной среде Алматы 3,4-бензпирен фактически накапливается. Наблюдается значительное увеличение выбросов полициклических ароматических углеводородов с началом отопительного сезона от стационарных источников. Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха города вносит автотранспорт, загрязнения от которого также увеличиваются с началом холодного времени года. Необходимо проводить исследования других объектов окружающей среды на содержание 3,4-бензпирена – поверхностных вод, почвы, осадков и не только по городу Алматы, но и в других регионах Казахстана. Кроме этого, в зарубежных странах проводится анализ атмосферного воздуха и других объектов окружающей среды на содержание не только 3,4-бензпирена, но и еще 15 приоритетных полициклических ароматических углеводородов. Необходимо проведение подобных анализов и в Казахстане, особенно в г. Алматы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Акопова Г.С., Власенко Н.Л., Гладкая Н.Г. Канцерогенные полициклические углеводороды в окружающей среде и вероятность образования их на объектах газовой промышленности. - М.: ИРЦ ГАЗПРОМ., 1993. - С. 28-35.
2. Анализ воды. Органические примеси. – Germany.: Hewlett-Packard Company, 1994. - С. 93-114.

3. Аничков С.И., Морозов О.В. Оценка влияния выбросов бенз(а)пирена от ТЭС на окружающую среду//Известия академии наук энергетика. -1997. - №5. - С.33-37.
4. Биктимирова Т.Г., Кудашева Ф.Х., Седова О.А., Гильманова Р.С., Новоселов В.Ф. Разработка методики вольтамперометрического определения 3,4-бензпирена в промышленных выбросах// Нефтепереработка и нефтехимия. – 1998. - №9. - С.75-77.
5. Гаврилов А.Ф., Аничков С.Н. Расчет выбросов бенз(а)пирена от паровых котлов малой производительности// Известия Академии Промышленной Экологии РАН. - 1997. - №2 - С. 63-66.
6. Ежегодник состояния загрязнения атмосферного воздуха городов и промышленных центров Республики Казахстан за 1991 г. - Алма-Ата: Изд-во Казгидромет, 1992. – 428 с.
7. Поглазова М.Н., Федосеева Г.Е., Хесина А.Я. О метаболизме 3,4-бензпирен микрофлорой различных почв и отдельными видами организмов// ДАН СССР. - 1971. - Т.198. - №5. - С. 64-68.
8. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Изд-во Госкомгидромет СССР, 1991. - С. 311-318.
9. Токоногий Н.И., Шестопалова Г.Е., Розанова В.Я. Некоторые факторы, определяющие деградацию 3,4-бензпирена в почве// Канцерогенные вещества в окружающей среде. - М., 1979. - С.137-140.
10. Шарифьянова Л.Н., Эстрина Г.Я., Хизбуллин Ф.Ф., Хатмуллина Р.М., Халитов Г.Г.: Тезисы докл./ Конф. «Диоксины: эколого-гигиенические проблемы и методы анализа». – Уфа.: 1995. - С. 86.
11. Эстрина Г.Я., Шеляков О.М., Хизбуллин Ф.Ф., Халитов Г.Г. Мониторинг загрязнения 3,4-бензпиреном различных объектов окружающей среды: Башкортостана// Медицина труда и промышленная экология. - 1997. - №8. - С.35-37.
12. Chemical pollution: A global overview. - Geneva. : UNEP, 1992. – 106 с. .

Республиканское государственное предприятие «Казгидромет»

Центр мониторинга загрязнения природной среды.

АЛМАТЫ Қ. АТМОСФЕРАЛЫҚ АУАСЫНДА 3,4-БЕНЗПИРЕННІҢ БОЛУЫ

Биол. ғылымдарының канд. Г. Садықова

Алматы қаласының атмосфералық ауасында басымды канцерогенді зат 3,4-бензпиреннің болуы мәліметтері ұсынылған. Қала ауасындағы полициклді ароматикалық көмірсутегінің маусымдық өзгерістері қарастырылған.

УДК 556.3

К ВОПРОСУ СОГЛАСОВАНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Канд. техн. наук Л.М. Павличенко

На основе сравнения результатов использования комплексной модели (системы детерминированных и статистических моделей) с результатами других типов моделей оцениваются возможности комплексной модели влияния Южно-казахстанской ГРЭС (ЮКГРЭС); рассматриваются условия согласования детерминированных и многомерных статистических моделей.

Стратегические задачи в области охраны и рационального использования природных ресурсов для реализации принципа устойчивого развития требуют тщательного изучения, разработки научных основ оценок состояния и прогнозов поведения геозкосистем в условиях техногенеза.

В хозяйственной деятельности вопрос прогнозирования ожидаемого состояния окружающей среды решается не на должном уровне. Это связано с отсутствием совершенной методики прогнозирования состояния сложных объектов, как в Казахстане, так и за рубежом. Прогнозированию частично поддаются воздействия на отдельные компоненты природной среды, например, загрязнение воздушного бассейна, развитие процессов подтопления. Используемые методы комплексного прогнозирования не совершенны по разным причинам, основными из них являются практически полное отсутствие определений параметров, характеризующих среду, и небольшая продолжительность (чаще всего отсутствие) режимных наблюдений. Так, используемый традиционно метод экстраполяции, заключающийся в ретроспективном изучении процессов и распространении выявленных закономерностей на будущее, не всегда применим из-за недостатка информации. Методы экспертных оценок имеют существенный недостаток, присущий субъективным оценкам.

Но поскольку для реализации экологических мероприятий требуются очень большие средства, наличие методики прогнозирования, при-

способленной к реальному состоянию исходного фактического материала, крайне необходимо.

Системная парадигма утверждает неизбежность отображения реального объекта множеством моделей: вследствие большого числа исследуемых параметров и вероятностного характера динамических изменений в геозкосистеме построение модели сложного объекта или процесса принципиально невозможно с помощью одной модели и должно осуществляться системами моделей. Таким образом, если мы хотим получить системное отображение объекта моделями, то обязательным условием должна быть их взаимная увязка, обеспечивающая эту системность. Особенности системного подхода к моделированию природно-технических систем рассмотрены в [14, 16, 17]. В качестве основных выводов этих работ можно отметить следующие:

- используемые методы комплексного прогнозирования не совершенны по разным причинам, основными из них являются практически полное отсутствие определений параметров, характеризующих среду, и небольшая продолжительность (чаще всего отсутствие) режимных наблюдений;

- построение модели сложного объекта или процесса принципиально не возможно с помощью одной модели вследствие большого числа исследуемых параметров и вероятностного характера динамических изменений в экогеосистеме и должно осуществляться системами моделей;

- моделирование сложных эколого-гидрогеологических объектов и процессов возможно как системами, состоящими только из детерминированных, так и только из статистических моделей. Однако наибольшего успеха для достижения максимальной степени адекватности, видимо, можно добиться при их комплексировании с использованием сильных сторон как детерминированных моделей (большая точность в узких пределах), так и статистических методов (выделение однородных совокупностей и возможность обработки большого количества разнородной информации в случае многомерных моделей);

- при создании системы моделей необходимо всегда учитывать, что точность детерминированных моделей во многом определяется правильным выбором краевых условий, а точность статистических – правильным набором исходных признаков.

Основной целью данной работы предполагается анализ исходных параметров и результатов различных типов моделей, применяющихся при

исследовании одного и того же объекта (Южно-Казахстанской ГРЭС, строительство которой планировалось на западном берегу оз. Балхаш, – ЮКГРЭС) для прогнозирования изменения гидрогеохимической обстановки территории в условиях неполной информации.

На первом этапе моделирование выполнялось традиционными методами – построением детерминированной математической модели гидрогеологической системы территории, на которой будут развиваться техногенные гидрогеологические процессы, и статистической многомерной модели (компонентного анализа) гидрогеохимических процессов района строительства ГРЭС, составленные на основе фондовых материалов – по результатам гидрогеологической и геологической съемки масштаба 1:200000.

Детерминированная фильтрационная модель района для прогноза оценки влияния техногенных факторов, представленных основными объектами ЮКГРЭС (золошлакоотвал, промплощадка и поселок ГРЭС Улькен, водохранилище-охладитель) с учетом их развития во времени, разработана в 1992 г. Л.С. Вerveйкиной и Р.Н. Тугамбаевой на основе программного комплекса "Торас-4".

С помощью детерминированной модели дана прогнозная оценка совместного влияния этих объектов на гидрогеологические условия района. При этом учитывались изменения, как контура внутренней границы, так и уровня подземных вод на нем во времени, согласно проектному графику заполнения золошлакоотвала и гипсометрии района, а также анизотропия геофильтрационных параметров в плане. В результате имитации процесса геофильтрации было установлено:

- произойдет подъем уровня подземных вод, что на ряде участков с близким естественным уровнем вызовет развитие процессов подтопления, особенно заметное в двух-трехкилометровой прибрежной зоне оз. Балхаш, где в естественных условиях залегание подземных вод неглубокое. Абсолютные отметки поверхности земли здесь 345-350 м, и подъем уровня подземных вод на 2-3 м может привести к нарушению в отдельных местах основания автотрассы и железной дороги;

- изменятся гидрогеодинамические, гидрогеохимические условия. Инфильтрационный бугор подземных вод, сформировавшийся под золоотвалом, будет растекаться в направлении оз. Балхаш еще в течение 60 лет после окончания его эксплуатации.

Итак, в качестве исходных данных геофильтрационной модели задавались лишь значения водопроницаемости и водоотдачи с учетом их плановой неоднородности и в соответствии с проектным графиком менялись граничные условия модели. Результатом фильтрационной модели является распределение прогнозных уровней подземных вод при воздействии различных техногенных факторов. Об изменениях гидрогеохимической обстановки делаются лишь качественные выводы на основе общих теоретических и эмпирических закономерностей.

Поскольку изменения минерализации и химического состава в детерминированной фильтрационной модели не рассматривались, общая оценка гидрогеохимических условий территории была построена на основе классической модели компонентного анализа (задача 1).

В задаче 1 опробовались данные по 111 водопунктам, опробованным сокращенным химическим анализом по территории юго-западного Прибалхашья во время геолого-гидрогеологических съемок масштаба 1:200000. Для характеристики динамических свойств подземных вод использовались в качестве признаков: абсолютные отметки устья (AO), глубины до уровней ($ГУ$), величины напоров (H), понижений (Π) и дебитов (D). В результате обработки данных компонентным анализом [9] выделено девять главных компонент, описывающих 97,02 % общей дисперсии системы 111 объектов, характеризующихся 15-ю признаками:

I: +[Сух.ост., Mg^{2+} , $Na^+ + K^+$, Cl^- , жест. общ., SO_4^{2-} , Ca^{2+} , HCO_3^- , жест. карб.], - [AO];

II: +[$ГУ$, H , D , Ca^{2+}], - [HCO_3^- , Π , жест. карб.];

III: +[Π , H , $ГУ$, AO], - [pH , D];

IV: +[Ca^{2+} , Cl^- , Π], - [жест. карб., HCO_3^- , $ГУ$, H , SO_4^{2-}];

V: +[pH , $ГУ$, H], - [D];

VI: +[AO , D , pH];

VII: +[жест. карб., Ca^{2+} , pH], - [SO_4^{2-} , AO];

VIII: +[AO , жест. карб.], - [Π , D , HCO_3^-];

IX: +[HCO_3^- , жест. общ., Mg^{2+} , Ca^{2+}], - [SO_4^{2-} , $Na^+ + K^+$, жест. карб., D].

Первая главная компонента, на которую приходится 41,7 % общей дисперсии системы, описывает испарительный со значительной долей переходного подтипа инфильтрационного цикла формирования подземных

вод. Такая интерпретация компоненты вытекает из распределения величин и знаков нагрузок на признаки, объединенных компонентой, и отражает увеличение концентраций (этот признак имеет самую большую положительную нагрузку в компоненте) для всех составляющих, также имеющих положительные знаки нагрузок. Увеличение концентраций происходит при движении подземных вод к пониженным участкам рельефа, т.е. при уменьшении абсолютных отметок, что и отражает отрицательный знак нагрузки на признак AO .

Поскольку в первой главной компоненте вторая по величине положительная нагрузка приходится на Mg^{2+} , можно считать, что территория характеризуется переходным подтипом инфильтрационного цикла, в котором присутствуют признаки испарительного этапа (*сух. ост.*, $Na^+ + K^+$, Cl^-) и литогенного этапов (Mg^{2+} , SO_4^{2-}). В меньшей степени (значительно меньшие по величине нагрузки) представлен атмосферный этап (Ca^{2+} , HCO_3^-).

Основная доля дисперсии исходных признаков приходится на южную часть территории, где отмечены подземные воды высокой минерализации, поэтому и большая часть положительных значений первой главной компоненты, характеризующих высокую интенсивность процесса испарительной концентрации, расположены именно в южной части. Развитие этого процесса демонстрируется здесь наличием значительных площадей, занятых солончаками.

Территория, на которой находятся сооружения ЮКГРЭС, характеризуется меньшей степенью проявления этого процесса за исключением нескольких участков, где подземные воды залегают близко к поверхности, причем область влияния техногенных сооружений попадает частично на один из таких участков.

Остальные главные компоненты (II . . IX) содержат динамические характеристики и описывают различные этапы метаморфизации подземных вод, определяющиеся динамикой потока. Так, вторая главная компонента, на которую приходится 16,2 % суммарной дисперсии признаков, в областях распространения положительных значений покажет подземные воды с относительно большими глубинами залегания, высокими дебитами и напорами (область развития напорных вод), т.к. признаки $ГУ$, $Н$, $Д$ входят в компоненту с большими положительными нагрузками. Для таких вод характерен литогенный этап формирования химического состава, что

подтверждается различием знаков на Ca^{2+} и $Na^+ + K^+$. $Na^+ + K^+$ имеет небольшую отрицательную нагрузку, как и HCO_3^- , т.е. области распространения отрицательных значений второй главной компоненты отрисуют участки преобладания атмосферного этапа, а в целом вторая главная компонента делит территорию на области проявления литогенного и атмосферного этапов. Сооружения ЮКГРЭС попадают в область распространения положительных значений компоненты, отличающие территории с относительно высокодебитными подземными водами, что не может считаться благоприятным фактором для техногенного участка.

III главная компонента, объясняющая 9,27 % общей дисперсии системы исходных признаков, объединила с положительными знаками нагрузок признаки *П, Н, ГУ, АО*, а с отрицательными – *pH* и *Д*. Таким образом, положительные значения третьей главной компоненты укажут области распространения малодебитных безнапорных и малодебитных напорных вод. Области распространения отрицательных значений отражают наличие подземных вод с повышенными относительно средних значениями *pH* и *Д*, причем значения этих признаков увеличиваются при уменьшении абсолютных отметок, т.е. при транзите подземных вод к области стока – оз. Балхаш.

И опять участки, на которых намечено строительство сооружений ЮКГРЭС, попадают на область распространения отрицательных значений третьей главной компоненты, т.е. области относительно высоких дебитов подземных вод, что не может считаться благоприятным ни с точки зрения загрязнения подземных вод и оз. Балхаш, ни с точки зрения дополнительного подпора подземных вод.

Остальные компоненты дополняют картину гидрогеохимической ситуации региона, описанную первыми тремя. IV, VII и IX главные компоненты, описывающие 8,54, 3,92 и 3,03 % суммарной дисперсии, являются дополнением второй, V и VIII объясняющие 5,97 и 3,03 % общей дисперсии системы исходных признаков, содержат фактически те же признаки, что и третья главная компонента. Схемы распределения их значений отмечают, что участки строительных сооружений ЮКГРЭС попадают в область транзита подземных вод, как и в третьей главной компоненте.

Как видно из описания компонент, даже далеко не полная интерпретация результатов компонентного анализа химического состава подземных вод показала, что участки строительства сооружений ЮКГРЭС попадают на наиболее водосбильные зоны, и потому, с точки зрения воз-

возможности подтопления застраиваемых территорий и загрязнения подземных вод и конечной области их стока – оз. Балхаш, являются весьма неблагоприятными. В случае повышения уровней мы будем иметь ситуацию, аналогичную южной части на "ненарушенный" период.

Итак, в этой задаче мы получили общее описание гидрогеохимической обстановки территории с районированием факторов ее формирования по степени проявления. Задача решалась по отдельным точкам – водопунктам, не совпадающим с опорными точками геофильтрационной модели, поэтому результаты этой модели можно сопоставлять с результатами детерминированной только на качественном уровне.

В условиях полного отсутствия определений параметров массопереноса для оценки изменения химического состава подземных вод обычно используются аналитические расчеты конвективного массопереноса и метод поршневого вытеснения. Оба эти метода были использованы и для ЮКГРЭС. В соответствии с известными аналитическими моделями [5, 8] и значениями параметров, выбранными из литературных источников для сходных пород, определялись значения относительной концентрации загрязняющих компонентов для подземных вод при строительстве ЮКГРЭС на расстояниях 8000 и 12500 м, что соответствует расстоянию от золошлакоотвала до уреза озера по двум профилям (первый – в рыхлых породах, опирается в водохранилище-охладитель; второй – в трещиноватых породах, доходит непосредственно до оз. Балхаш), на промежутки времени 5, 10 и 15 лет, или 1825, 3650 и 5475 суток после заполнения золошлакоотвала. По этим профилям из результатов детерминированной модели были выбраны прогнозные значения фильтрационных расходов из золошлакоотвала, водопроницаемостей и коэффициентов водоотдачи, с учетом которых можно оценить увеличение скоростей фильтрации подземных вод вследствие увеличения градиентов на каждый временной шаг и относительную концентрацию загрязняющих компонентов.

Для первого профиля на момент времени $t = 5$ лет (1825 сут) концентрация загрязняющих веществ у берега оз. Балхаш составит 0,079 от исходной их концентрации в золошлакоотвале (от растворенных элементов и их соединений); для $t = 10$ лет – 0,74, а для момента времени $t = 15$ лет – 0,98. Таким образом, по первому профилю через 15 лет концентрация загрязняющих элементов достигнет исходной величины у берега оз. Балхаш. По второму – через 15 лет у берега оз. Балхаш концентрация загрязняющего вещества достигнет лишь 0,262 от исходной концентрации,

а время, когда она достигнет здесь половинной от исходной величины составит 52 года с начала действия золошлакоотвала, сравняется с исходной у золошлакоотвала -- через 2187 лет.

Таким образом, основное количество загрязняющих веществ переносится по первому профилю, по второму же в оз. Балхаш их поступает очень мало. Если учесть, что первый профиль упирается в водохранилище-охладитель, то можно сделать вывод о его загрязнении фильтрующимися из золошлакоотвала веществами. При развитии подпора от водохранилища основное загрязнение будет сосредоточено вдоль первого профиля.

В случае отсутствия дисперсии (по схеме поршневого вытеснения) время прохождения фронта загрязнения от контура золошлакоотвала до берега оз. Балхаш для первого профиля составит 7,4 года, а для второго -- 52 года. Следовательно, для нейтральных (невзаимодействующих с породой) загрязняющих веществ сроки поступления в оз. Балхаш значительно сокращаются, а потому при высоких исходных концентрациях могут представлять опасность для оз. Балхаш.

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что применение детерминированных моделей массопереноса (несмотря на их солидную теоретическую и алгоритмическую разработку) сдерживается практически полным отсутствием экспериментально определенных параметров массопереноса. Полевые опытно-миграционные исследования по сравнению с опытно-фильтрационными занимают значительно большее время и стоят несравненно больше последних. Соответственно аналитические расчеты могут дать лишь приблизительные оценки времени, через которое по разным схемам фильтрации концентрации загрязняющих веществ достигнут половинной или исходной концентрации загрязняющих компонентов. Статистическая модель, хотя и характеризуют относительную интенсивность факторов формирования гидрогеохимических условий территории, также не дает прогнозных значений минерализации подземных вод.

С целью количественных оценок техногенного влияния на региональные изменения геологической среды Юго-Западного Прибалхашья решались две задачи по статистической обработке гидрогеологической карты Чу-Илийского рудного региона масштаба 1:200000. В задачах 2 и 3 обрабатывались данные по распространению геологических пород разных возрастов и динамические характеристики потоков подземных вод. В задаче 2 эти параметры брались на ненарушенный период (за который

принимался условно момент гидрогеологической съемки территории). В задаче 2 в качестве параметров на прогнозный (20 лет воздействия техногенных факторов) период учитывались результаты изменений уровней подземных вод, полученные с помощью традиционной геофильтрационной модели.

Для моделирования картографического материала (Касымбеков, 1990) район исследований был разбит ортогональной сеткой на 72 блока. Численные значения признаков задавались величинами условных площадей проявления каждого из них по блокам. Для статистической обработки использовались следующие признаки: площади распространения геологических пород по возрастам – apQ_{II-IV} , Q_{IV} , N_{1-2} , D_3 , D_3+C_{1t} , C_{1v} , $\delta_{1,2}$, ϵ_3 , ϵ_1 , ϵ_2-O_1 , O_{1-2} , $PR_3-\epsilon_1$, D_{1-2} , γ , κ ; средние по блоку глубины залегания подземных вод (H_{cp}) и минерализации (M_{cp}); площадь открытой водной поверхности ($S_{отп}$). Расходы в блоках (Q_b) на ненарушенный период рассчитывались на основе карт водопроводимостей и гидроизогипс (Касымбеков, 1990). Прогнозные значения расходов (Q'_b) складывались из увеличения расходов, полученных в результате детерминированной модели на период 20 лет. Прогнозная величина открытой водной поверхности ($S'_{отп}$) задавалась по максимальным отметкам заполнения золошлакоотвала, водохранилища и испарителя.

По уравнениям регрессии на главных компонентах [10] получились следующие прогнозные значения минерализации: $M_{15} = 15,3 \text{ г/дм}^3$ и $M_{16} = 19,9 \text{ г/дм}^3$ при исходных 4,6 и 4,8 г/дм^3 соответственно для 15-го и 16-го блоков, т.е. в блоках, испытывающих подъем уровней подземных вод, наблюдается и рост минерализации.

Конечно, полученные значения весьма приблизительны вследствие того, что нагрузки на признаки в сравниваемых компонентах несколько различны, а мы этим различием пренебрегали, однако тенденция роста минерализации проявляется весьма четко. Более точное решение должно учитывать различие в виде компонент. В рамках классического компонентного анализа такие противоречия снимаются стохастической постановкой задачи, когда матрицы исходных данных считаются выборками из некоторой генеральной совокупности, включающей замеры всевозможных параметров у самых различных объектов, т.е. это некая гипотетическая матрица, содержащая все возможные состояния у всех возможных объектов. Для нашего случая это фактически означает переход к подробнейшему опробованию в глобальном масштабе, чтобы учесть временные изме-

нения, да и в этом случае всегда остается сомнение в полноте из-за невозможности предугадать будущие техногенные нагрузки.

Поэтому для практических целей естественной является детерминированная постановка, при которой закономерности, установленные для конкретной выборки, не распространяются на территории за пределами опробования. В этом случае при более или менее устойчивом виде компонент нагрузки на признаки, составившие каждую компоненту, будут всегда разными, а, следовательно, в классических статистических моделях всегда будет стоять проблема сравнимости их результатов.

На основе системного анализа и теории информации автором разработана методология моделирования геозкосистем системами детерминированных и статистических моделей (комплексные модели) [10-17]. В систему моделей включаются уравнения состояния геозкосистемы на исходный и прогнозируемый моменты времени.

Комплексирование с детерминированными моделями осуществляется введением в уравнения состояния на прогнозируемый момент результатов решения детерминированных моделей. Таким образом, сама детерминированная модель реализуется обычным способом – в нашем примере это описанная выше сеточная геофильтрационная модель, построенная на основе программного комплекса "Торас-4". Эта модель входит в комплексную лишь результатами прогнозов уровня подземных вод под влиянием техногенеза и граничными условиями на прогнозный момент времени. Дополнительная детерминированная составляющая новой модели вводится построением алгоритмов, основанных на вращении многомерных компонентных осей. При этом модели, описывающие взаимосвязи на разные временные или разные качественные уровни, объединяются в систему матричных уравнений, а вращение осей осуществляет их многоуровневую связь [11].

Разработанная комплексная модель решает задачи, сходные с задачами информационной технологии на основе системологии П.К. Анохина, не выделяя явно базисные подсистемы. Сложный вопрос учета нелинейности взаимосвязей снимается многомерностью задачи (фактически, используются их линейные разложения). Использование в качестве фактического материала результатов детерминированных моделей, новых граничных условий и большого количества объективных косвенных показателей, свидетельствующих о происходящих процессах, повышает степень адекватности модели реальной геозкосистеме. Рассмотрим результаты оп-

робования методики для прогноза минерализации подземных вод под влиянием ЮКГРЭС.

Для комплексной модели, как в задачах 2 и 3, в качестве исходной информации также использовалась закодированная гидрогеологическая карта. Такая постановка задачи была, с одной стороны, вынужденной – мы не располагали данными по разрезу скважин, из которых отбирались пробы на сокращенный химический анализ, а с другой – намеренной, чтобы продемонстрировать возможности статистических методов и комплексной модели по весьма ограниченному фактическому материалу оценить изменения параметров, не прогнозируемых детерминированной моделью. Комплексная модель дает измененные в результате подпора подземных вод значения минерализации во всех блоках. По результатам применения комплексной модели значения минерализации составили 13,2 и 23,1 г/дм³ для 15-го и 16-го блока соответственно, т.е. получились величины, вполне сопоставимые со значениями из уравнения регрессии. Эти значения довольно близки к значениям минерализации в юго-западной части района, где отмечается развитие солончаков.

Еще раз напомним, что прогнозные значения минерализации получены при учете только влияния подпора уровней, т.е. изменения интенсивности испарительной концентрации и ионного обмена с породами, косвенно закодированного в значениях условных площадей распространения горных пород. Чтобы учесть техногенное изменение минерализации, надо знать исходный состав и концентрацию загрязняющих компонентов. В этом случае необходимо было бы дополнить исходную матрицу в центрах блоков значениями концентраций составляющих химического состава, а прогнозную – распределением прогнозных значений минерализации или каких-либо из составляющих химического состава в зонах расположения золошлакоотвала и водохранилища-охладителя, для чего необходимо в комплексную модель включить модель конвективного переноса.

Как обобщение первого опыта применения комплексной модели можно отметить следующие рекомендации, которые окажутся весьма полезными также и при вписывании имитационных моделей любого типа в ГИС:

- Для совместного применения детерминированной и статистической модели обязательна увязка их входной и выходной информации в количественном и качественном отношении. При построении детерминированных моделей графическая и табличная исходная информация приво-

дится к матричной форме, описывающей центры блоков сеточной разбивки области фильтрации с усреднением всех фильтрационных параметров, а также внешних и внутренних граничных условий, по площади блока на исходный (начальный) момент времени. Исходная информация для компонентного анализа также представляет собой матрицу исходных данных, в которой каждый объект (реальная точка наблюдения, либо центр блока) характеризуется набором параметров любого типа с соблюдением одного условия – каждый параметр для всех объектов должен иметь одинаковые единицы измерения, хотя каждый параметр может характеризоваться своей собственной единицей измерения.

- Различия в традиционных наборах параметров могут быть лишь в параметрах химического состава подземных, поверхностных вод и водовмещающих отложений. Они служат основным источником сведений о фильтрационных процессах в статистических моделях на стадии модели начального состояния и именно их необходимо восстанавливать на стадии решения прямой (прогнозной) задачи, т.к. не существует пока эффективных детерминированных моделей для прогноза изменений химического состава подземных вод.

- Поскольку эти параметры не входят в число основных параметров детерминированной модели, для них не строятся "матрицы". С другой стороны, при обработке их статистическими моделями в качестве объектов чаще всего используются скважины, поэтому не имеется соответствия в количестве объектов детерминированной и статистической моделей. Для их увязки необходимо методами интерполяции значения каждого параметра привести к центрам блоков разбивки области фильтрации.

- Выходная прогнозная матрица фильтрационной детерминированной модели всегда является неполной по количеству параметров, выходная прогнозная матрица статистической модели не предусматривается, а выходная прогнозная матрица комплексной модели восстанавливается в полном объеме, соответствующем объему матрицы начального состояния.

- Детерминированные модели могут дать лишь небольшое число прогнозных параметров, сюда же можно отнести и параметры, отражающие измененные граничные условия, поэтому прогнозная матрица никогда не может быть полной. Именно на этом этапе необходимо подключение новых алгоритмов комплексной модели: установленные на начальный момент времени взаимосвязи между признаками с учетом временного вра-

щения помогут восстановить отсутствующие параметры на прогнозный момент времени.

- Построенные на основе вращения компонентных осей в многомерном признаковом пространстве-времени алгоритмы позволяют вычислить нормированные значения полного набора прогнозных признаков.

- Возвращение к исходным единицам измерения возможно при условии задания законов изменения средних значений и дисперсий всех исходных признаков.

Разработанную методику можно применять при построении системы мониторинга, моделей управления и охраны водных объектов региона, при выполнении ОВОС гидротехнических сооружений, в градостроительной практике и пр.[10, 12, 13, 18, 19 и др.] Главными проблемами в применении методики является обоснование изменений средних значений и дисперсий прогнозных признаков и жесткая привязанность к временным шагам детерминированной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А. Модельно- и методоориентированные интеллектуализированные программные комплексы по статистическому анализу данных // Многомерный статистический анализ и вероятностное моделирование реальных процессов. – М.: Наука, 1990. – С. 6-30.
2. Айвазян С.А., Енюков И С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
3. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / В.Н. Вапник, Т.Г. Гладкова, В.А. Кащеев и др. – М.: Наука, 1984. – 815 с.
4. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
5. Бочеввер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. – М.: Недра, 1979. – 255 с.
6. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – 213 с.
7. Зальцберг Э.А., Деч В.Н. Исследование и прогноз режима подземных вод с помощью многомерного спектрального и компонентного анализов // Разведка и охрана недр. – 1979. – № 6. – С. 40-46.
8. Казанский А.Б. Теория фильтрационной диффузии и приложение ее к задачам гидрологии и гидрогеологии. – М.: Наука, 1973. – 136 с.

9. Йёреског К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А. Геологический факторный анализ. – М.: Недра, 1980. – 223 с.
10. Павличенко Л.М. Исследование региональных гидрогеохимических процессов на основе компонентного анализа. – Дис. канд. техн. наук. Алма-Ата, 1984. – 189 с.
11. Павличенко Л.М. Система многомерных статистических моделей анализа неполных эколого-гидрогеологических данных // Вопросы изучения водных ресурсов Центральной Азии. – Алматы: Гылым, 1993. – С. 89-103.
12. Павличенко Л.М. Контроль процесса загрязнения подземных вод бромом на основе метода стандартной матрицы нагрузок // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. Материалы III Международного симпозиума (Белгород, 1995 г.). – Белгород: Изд-во ВИОГЕМ, 1995. – С. 141-147.
13. Павличенко Л.М. Прогноз изменения минерализации подземных вод в результате воздействия ЮК ГРЭС на основе компонентной модели // Географические основы устойчивого развития Республики Казахстан. – Алматы: Гылым, 1998. – С. 307-311.
14. Павличенко Л.М. К технологии построения моделей прогноза изменений экогеосистем // Гидрометеорология и экология. – 2000. – № 1. – С. 37-60.
15. Павличенко Л.М. К проблеме организации и оптимизации геоэкологического мониторинга // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2000. – № 5. – С. 95-108.
16. Павличенко Л.М. Системное моделирование природно-технических гео-систем // Новые подходы и методы в изучении природных и природно-хозяйственных систем. – Алматы: Казак университеті, 2000. – С. 132-135.
17. Павличенко Л.М., Веселов В.В. Системный подход к построению моделей сложных природных процессов // Вестник КазГУ. Серия географическая. 1997. – № 4. – С. 25-29.
18. Павличенко Л.М., Шапиро С.М. Применение методов многомерной статистики для прогноза процессов загрязнения подземных вод на основе оценки изменения их химического состава // Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод (Современные проблемы биосферы). – М.: Наука, 1990. – С. 137-141.
19. Павличенко Л.М., Шапиро С.М., Джумагулов М.Т. Техногенные гидрогеологические процессы в пределах городских агломераций и их

экологическое значение // Экологические проблемы Казахстана. Доклады республиканского совещания (Алма-Ата, 1991). – Алма-Ата: ООП РИИЦ Госкомстата КазССР, 1991. – С. 150-159.

Казахский государственный национальный университет им. Аль-Фараби

ГИДРОГЕОХИМИЯЛЫҚ ШАРТТАРДЫҢ ӨСУІН ТАЛДАУ МЫСАЛЫНДА ГЕОЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҮЛГІЛЕРДІҢ КЕЛІСІЛУІ МӘСЕЛЕСІНЕ

Техн.ғылымдарының канд. Л.М.Павличенко

Кешенді үлгіні (шартталған және статистикалық үлгілер жүйесін) қолдану нәтижелерін басқа үлгілер түрлерімен салыстыру негізінде Оңтүстік Қазақстан ГРЭС (ОҚГРЭС) ықпалы кешенді үлгісінің мүмкіндіктері бағаланады; шартталған және көпөлшемді статистикалық үлгілердің келісу шарттары қарастырылады.

УДК 556.3

**СИСТЕМНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ПОЗИЦИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО
РАЙОНИРОВАНИЯ**

Канд. геол.-мин. наук М.М. Бураков
Канд. техн. наук Л.М. Павличенко

Показано, что проблема оптимизации наблюдательной сети и переориентации ее для реализации системы современных целей государственного мониторинга подземных вод тесно увязана с проблемой систематизации схем гидрогеологического районирования. Рассматриваются системные принципы организации сети мониторинга подземных вод. Система целей гидрогеологического районирования и способы ее реализации сопоставляются с принципом проблемной организации экологического мониторинга, формализованного для самого простого варианта – сокращающаяся сеть при сохранении числа опробуемых параметров.

В условиях дефицита ресурсов поверхностных вод и обострения международных трансграничных проблем подземные воды для Казахстана становятся стратегическим ресурсом, определяющим социально-экономическое и экологическое развитие страны. Изучение и оценка ресурсов подземных вод, их рациональное использование и охрана становятся первостепенными, стратегическими задачами суверенной Республики, а потому актуальность проблемы оптимизации мониторинга подземных вод не уменьшается.

Система Государственного мониторинга подземных вод (ГМПВ) в Казахстане создается сравнительно недавно. Содержание, структура и порядок ведения ГМПВ на территории Республики Казахстан определены Положением о государственном мониторинге недр Республики Казахстан, утвержденном Постановлением Правительства Республики Казахстан № 106 от 27 января 1997 г. Существующая наблюдательная сеть ГМПВ создавалась и развивалась в соответствии с требованиями, разработанными еще в 60-70-е годы, для изучения различных гидрогеологических процессов. В 80-е годы эти требования были уточнены и расширены, в соот-

ветствии с ними начала создаваться наблюдательная сеть по охране подземных вод от загрязнения. За время эксплуатации часть наблюдательных пунктов вышла из строя, часть попала на территорию застройки или частных владений, на ряде пунктов поставленные при их организации конкретные гидрогеологические задачи оказались решенными. На настоящий момент объективно возникла серьезная необходимость оптимизации наблюдательной сети и переориентации ее для реализации системы современных целей ГМПВ.

Согласно упомянутому Положению и Постановлению принята концепция ГМПВ, в которой выделяются фоновая, региональная, локальная и специализированная наблюдательные сети с учетом частных наблюдательных сетей. С позиций этой концепции основными недостатками существующей наблюдательной сети ГМПВ являются: недостаточно обоснованная объектная привязка постов и пунктов наблюдения, так как выполненное районирование территорий не устраняет уникальности каждого выделенного района, а, следовательно, неясной остается репрезентативность наблюдательных постов применительно даже к гидрогеологическим структурам 3-его и 4-ого порядка (соответствующим схеме районирования территории СССР по [17]); наблюдательные пункты часто оборудованы на неэксплуатируемые водоносные горизонты и комплексы; в зависимости от задач всего поста и входящих в него наблюдательных пунктов последние должны иметь специализированные конструкции и оборудование; практически совсем не исследовалась достоверность получаемых по данным режимных наблюдений на существующей сети результатов.

Целью данной статьи является попытка выявления путей оптимизации сети мониторинга подземных вод, в качестве одного из которых мы видим сопоставление принципов организации мониторинга и гидрогеологического районирования с учетом рекомендаций системного анализа по исследованию сложных систем. В качестве модели оптимизации сети мониторинга подземных вод предлагается принцип проблемной организации экологического мониторинга, который может быть частично формализован.

Одним из наиболее ответственных элементов обоснования и оптимизации сети является: 1) назначение системы целей и 2) выбор согласованной с этой системой эвристической модели (рабочей гипотезы) условий формирования подземных вод и их режима [15]. Обоснование системы целей ГМПВ требует всестороннего анализа и обсуждения проблемы

объекта мониторинга. Сложившееся к настоящему времени представление об этой проблеме содержит ряд аспектов, довольно слабо увязанных друг с другом. Так, объектом мониторинга считаются подземные воды, а целью его – информационное обеспечение рационального использования и охраны подземных вод. При этом основными задачами ГМПВ ставятся: наблюдение состояния подземных вод; оценка состояния подземных вод; составление прогнозов изменения состояния подземных вод (в целом – осуществление цели ГМПВ).

Детализация целей обуславливает выделение на следующем иерархическом уровне двух объектов: а) режим и баланс подземных вод и б) охрана подземных вод от истощения и загрязнения. Эти объекты соответствуют следующим целям мониторинга: установление закономерностей режима подземных вод и оценка количественных характеристик процесса формирования последних; оценка состояния подземных вод в районах расположения объектов недр- и природопользования, являющихся действующими или потенциальными источниками загрязнения подземных вод и (или) причиной их истощения.

При таком подходе достаточно искусственным выглядит разделение наблюдательной сети ГМПВ (и соответственно задач ГМПВ) на фоновую, региональную и локальную. Если локальная цель фонового мониторинга – изучение естественного (фоновое) режима как исходного уровня (эталона) при оценке техногенных изменений состояния геологической среды – на первый взгляд вполне обоснована, то цели регионального и локального мониторинга реально разделить сложно: масштабная иерархия целей должна быть четко привязана к масштабному иерархическому районированию. Таким образом, задача выделения иерархической системы целей мониторинга легко решается, если гидрогеологическое районирование реализует системный подход. Проанализируем современную ситуацию с системным подходом в районировании, напомнив предварительно основные рекомендации системного анализа при анализе сложных систем.

Наиболее значительным общенаучным инструментом познания в последнее время становится системный анализ. Необходимо указать на то обстоятельство, что методология (в том числе, моделирование, объектами которого считаются и картографические модели территорий [10]) в гидрогеологии развивалась, вслед за системными представлениями в географии, где на первое место выдвигается задача выделения функции геосистемы. По аналогии с географической для гидрогеологической системы функция

устанавливается на основе изучения взаимосвязей компонентов системы, а изучение миграции вещественно-энергетических потоков дает территориальную приуроченность ее интенсивности – территориальную дифференциацию. С математической точки зрения, многие такие модели можно отнести к графовым, причем характер взаимосвязей и их количественное выражение в принципе можно задавать, в отличие от географических моделей, в которых они задаются на уровне экспертных оценок, исходя из параметров вещественных и энергетических потоков, как внутри гидрогеологической емкости¹, так и на ее границах (вход-выход в емкость и из нее). Привлечение алгоритмов таких моделей может оказаться очень полезным для общего гидрогеологического районирования, обеспечивая его логическую завершенность.

В региональных гидрогеологических исследованиях чрезвычайно широко (хотя и стихийно, во многом неосознанно) применяется системная парадигма, в соответствии с которой в качестве основных свойств природных гидрогеологических систем выделяются иерархичность, наличие взаимосвязей и самоорганизация [22, 26]. Такая формулировка справедлива в основном для природных систем, территориальная дифференциация которых предполагает иерархию. Общая же (формальная) формулировка системой считает совокупность элементов, обладающих связями (переходом по которым соединяются элементы совокупности) и свойством, или функцией, отличным от свойств отдельных элементов [25]. Это новое качество, которое появляется в системе благодаря взаимосвязям, часто называют эмерджентностью. С точки зрения модели структуры системы это новое свойство является выходом исследуемой системы.

Поскольку каждый объект можно рассматривать и как целое (как систему), и как состоящее из отдельных частей (элементов), выделение нижнего звена системы – элементов – определяется исключительно целевой установкой. Точно так же при огромном числе взаимосвязей между элементами и между элементами и окружающей средой выбирают лишь важнейшие для целей рассмотрения. При этом обратные связи выступают в роли важнейших регуляторов системы, определяющих ее самоорганизацию [24, 25].

Таким образом, системный анализ предусматривает возможность существования неограниченного количества систем, описывающих один и

¹ Здесь опускается определение термина "гидрогеологические емкости"; в настоящей работе, как и в [4, 8], он используется в том же смысле, что и в [17].

тот же объект или процесс, причем каждая из систем дает верное описание этого объекта или процесса и отражает исходную целевую установку. Таким образом, каждая из систем дает верное объективное описание какой-то стороны (особенности) сложного объекта или процесса и среди них принципиально не может быть лучшей или худшей [27]. Следовательно, может существовать и неограниченное количество моделей, соответствующих построенным системам.

Этот вывод, в частности, по отношению к геосистемам делает В.Б. Сочава, который подчеркивает, что построение модели сложного объекта или процесса принципиально невозможно с помощью одной модели вследствие большого числа исследуемых параметров и вероятностного характера динамических изменений в геосистеме, а, следовательно, должно осуществляться системами моделей [25].

Вместе с тем, многие проблемы общего гидрогеологического районирования возникают на игнорировании особенностей этого факта: приходится постоянно сталкиваться с тем, что автор той или иной схемы районирования за редким исключением обосновывает ее как лучшую, универсальную.

Необходимо обратить внимание на еще одну современную особенность общего или регионального гидрогеологического районирования — для него до настоящего момента не сформулирована четко система целей и их иерархия (соподчинение). В то же время многочисленные публикации по гидрогеологическому районированию, в которых отражена длительная и сложная история его развития, подтверждают научную и практическую актуальность общего гидрогеологического районирования.

Одной из важнейших задач регионального гидрогеологического районирования, во многом обуславливающей систему целей районирования, является определение объекта районирования. К последнему времени довольно четко определились два основных вида гидрогеологического районирования: специальное и общее, различающиеся системами целей. Специальное районирование проводится, как правило, при решении прикладных или научных задач, имеющих практическое значение в какой-либо отрасли народного хозяйства (водоснабжение, мелиорация, бальнеология и т.д.). Такое гидрогеологическое районирование, имеющее определенную практическую направленность, М.Р. Никитин предлагает считать отраслевым [17], выделяя еще и частное, которое учитывает какой-либо

один показатель гидрогеологических условий (гидрогеохимия, динамика подземных вод и т.п.).

С математической же точки зрения четко формулируется содержание общего гидрогеологического районирования. Последнее представляет собой попытку получения дискретного распределения какого-либо параметра по площади с целью введения весов выделенных территориальных фрагментов при оценках интегрального (суммарного) значения параметра на рассматриваемой площади. В свою очередь суммарные значения параметра в выделенном фрагменте являются следствием более крупномасштабного районирования внутри фрагмента и т.д. Таким образом, детальность районирования задается уровнем генерализации (масштабом), в котором районирование осуществляется. Предложенная формулировка содержания районирования четко предписывает последовательность районирования – от крупномасштабного к мелкомасштабному – что полностью соответствует очевидным подходам к генерализации в картографии.

Сюда тесно примыкает проблема прогностической роли районирования. В [5, 6] мы уже рассматривали прогностическую роль классификации (районирование принципиально может рассматриваться как некоторое выражение классификации) где показали, что отнесение какого-либо объекта к тому или иному таксону классификации (или районирования) возможно лишь на основе некоторого минимума информации об этом объекте. Соответственно классификация прямого прогностического значения (понимаемого таким образом, что соотнесение объекта с каким-то таксоном классификации обеспечивает получение новых сведений о параметрах, характеризующих объект) не имеет. Точно также необходимость генерализации параметров при районировании от крупного масштаба к мелкому исключает возможность априорного выделения объекта мелкомасштабного районирования и его привязки к территории. Именно здесь кроется причина попыток районирования по косвенным признакам – геологическим, геоморфологическим, климатическим и др. особенностям территории; использование последних в качестве основы районирования в принципе снимает проблему синергетического эффекта районирования, так как сходство территорий по косвенным признакам дает новую информацию о гидрогеологических условиях еще не изученных регионов. Степень совпадения районирования по таким косвенным признакам с гидрогеологическим и является предметом обсуждения при анализе подходов к

гидрогеологическому районированию, при обосновании схем такого районирования.

Необходимо отметить следующее. Имеющаяся на настоящий момент гидрогеологическая изученность территорий крупных регионов, тем не менее, не обеспечивает возможность установления четких прямых критериев районирования этих регионов. С другой стороны удалось эмпирически нащупать удачный подход к районированию напорных вод, например, на основе геолого-структурных (косвенных) признаков – геолого-структурные элементы, как оказалось, достаточно точно отождествляются с гидрогеологическими телами, имеющими законченный цикл формирования напорных вод. Точно так же использование в первую очередь геоморфологических параметров территории обеспечило объективное выделение границ гидрогеологических тел, для которых характерен законченный цикл формирования безнапорных (грунтовых) вод. Например, водораздельные линии (водораздельные для поверхностных вод) достаточно четко фиксируют также и дивергентные границы потоков подземных вод, а линии базисов эрозии – конвергентные границы этих потоков. Естественно, что практически все существующие схемы районирования строятся на аналогичном эмпирическом подходе.

Анализ многочисленных схем различных авторов, проделанный в работе [17], показывает, что объектами районирования могут быть как сами подземные воды, так и гидрогеологические тела, обладающие общностью или различиями условий формирования подземных вод. При этом если объектом районирования являются подземные воды, то районирование производится как по прямым, так и по косвенным признакам. В качестве прямых признаков для выделения районов используются показатели, отражающие свойства самих вод (например, их химический состав, минерализацию, тип формирования); косвенных признаков – природные факторы, определяющие закономерности формирования и распространения подземных вод (климат, рельеф, геологическое строение). Районирование по прямым признакам, как отмечает И.К. Зайцев, более совершенно, но требует единой классификации подземных вод, которая пока не разработана.

Надо отметить, что природные факторы, определяющие закономерности формирования и распространения подземных вод (климат, рельеф, геологическое строение), и отнесенные к косвенным признакам районирования подземных вод (как объекта районирования), полностью сов-

падают с набором признаков (особенно в части геологического строения) при выделении гидрогеологических тел, сходных или различающихся по условиям формирования подземных вод (см., например, [17]). Соответственно эти признаки и должны рассматриваться как критерии выделения гидрогеологических тел.

Использование в качестве объектов районирования гидрогеологических тел приводит к большому смысловому и терминологическому разнообразию схем районирования [17]. В работах [4, 7, 8] приводится сравнительный анализ существующих схем районирования с характеристикой существующего состояния системы целей регионального районирования. Оно часто приводит к ситуации, когда возникает вопрос, а зачем, с какой целью, собственно, выполняется региональное гидрогеологическое районирование, если существуют продукты специального гидрогеологического районирования – гидрогеологические карты различного масштаба (охватывающие, в том числе, крупные регионы, территорию всей страны и т.д.), на которых в принципе отражена вся необходимая гидрогеологическая информация.

В [17] как крупнейший недостаток современного регионального гидрогеологического районирования отмечается недостаточная разработанность теоретических и методических вопросов общего районирования, отсутствие общепризнанных принципов и схем и общепризнанной карты общего гидрогеологического районирования территории страны. Использование различных принципов и отличительных признаков районирования приводит к выделению на одной и той же территории несопоставимых таксономических единиц, что исключает возможность их последующего сравнительного анализа. А отсутствие четких критериев для выделения таксонов влечет за собой возможность разработки различных схем даже на основе одних и тех же принципов. Подобное игнорирование системной парадигмы, т.е. стремление к унифицированной схеме районирования демонстрирует большинство гидрогеологов. При этом одной из причин такого положения (не достигнутой до сих пор унификации) называется отсутствие общепринятого понятия "гидрогеологический район" [17]; в этой же книге дается довольно полный обзор существующих понятий, обозначаемых термином "гидрогеологический район", и содержания дискуссии относительно преимуществ и недостатков тех или иных из них.

С позиций системного анализа в существующем многообразии подходов к выделению гидрогеологических районов абсолютно нет про-

тиворечий, как и в обзоре [17]. Дело в том, что во всякой работе (пусть в неявной, скрытой форме) присутствует своя, отличная от других (пусть только какими-то нюансами – хотя бы территориальными), система целей. Именно она и определяет уникальность любой схемы и методики гидрогеологического районирования. Более того, следует признать, что именно эта методика и схема является наилучшей применительно к конкретной системе целей (разумеется, если верна теоретическая база построения и правильно обоснована система целей такого районирования).

Реализуется указанное противоречие наличием двух принципиально различных подходов к районированию грунтовых и артезианских подземных вод. Б.Л. Личков, О.К. Ланге; М.М. Васильевский, А.А. Козырев, У.М. Ахмедсафин и др., в принципе стихийно стоя на позициях системного анализа, были убеждены, что районировать эти воды следует только отдельно, поскольку условия их формирования и распространения определяются различными факторами, которые необходимо учитывать при районировании. Для грунтовых вод это в первую очередь климат, рельеф, геологическое строение (в основном литологические особенности водоносных пород), для артезианских вод главным фактором являются геоструктурные особенности территории. И.К. Зайцев, Н.И. Толстихин, А.М. Овчинников, М.И. Врублевский, Н.В. Роговская, Е.В. Пиннекер и др., основываясь на идее единства подземной гидрогеосферы (но отходя от системной парадигмы), приходят к выводу о необходимости совместного районирования грунтовых и артезианских вод.

Если принять во внимание то общее, что есть во всех схемах районирования, можно проследить двухуровневую системную иерархию (отвлекаясь от стратификации). На нижнем уровне осуществляется генерализация прямых признаков до выявления признаков, являющихся для обоих уровней косвенными, и именно эти признаки в верхнем уровне несут прогностическую нагрузку; выделяются новые, не исследованные ранее территориальные структуры со сходным набором косвенных признаков. С точки зрения прогноза ресурсов, такой прогноз вряд ли можно назвать полноценным – выявляется лишь вероятность обнаружения аналогичной схемы формирования подземных вод во вновь выявленных структурах.

В отличие от традиционного двухуровневого иерархического подхода к гидрогеологическому районированию основные принципы системного анализа (конечной цели, единства, связности, иерархии и функциональности), разработанные на основе обобщения опыта научных исследо-

ваний в различных научных и технических сферах, можно представить как рекомендацию рассмотрения любой системы в трех уровнях – сама система, над- и подсистема [23]. Поскольку выходы из надсистемы являются входами в систему, а сами выходы определяют функцию системы (то, что система "умеет" делать) и являются входами в подсистему, наибольшего успеха при исследовании этой системы можно добиться лишь при условии ее рассмотрения со всеми входами и выходами. Чем выше иерархическая ступень системы, тем меньшее число параметров управляет ею. И наоборот, чем ниже иерархическая ступень, тем большее число параметров определяет состояние и устойчивость системы, соответственно выявление однородных по свойствам зон требует учета большего числа параметров. Именно поэтому традиционный подход к гидрогеологическому районированию предусматривает выход в надсистему, оперирующую меньшим количеством признаков.

Глобальная цель достигается лишь при площадной дифференциации новых территорий на уровне исследуемой системы, либо еще более детальном (на уровне подсистемы), иными словами, при традиционном двухуровневом иерархическом подходе к гидрогеологическому районированию количественный прогноз ресурсов невозможен. Таким образом, при генерализации на основе такого подхода для уровня надсистемы происходит фактически замена целевой установки: основной целью районирования становится само районирование, задача оценки и учета ресурсов подземных вод становится самостоятельной проблемой и зачастую рассматривается в отрыве от районирования. Поиск выхода из сложившейся ситуации снова приводит к рекомендациям системного анализа [24, 25].

Процедура генерализации с точки зрения системного анализа оказывается выявлением управляющих параметров системы – входов в исследуемую систему – выходов из надсистемы (схемы районирования, выполняемой в более мелком масштабе). С математической точки зрения эта процедура означает свертывание пространства признаков, существует достаточное количество математических моделей для ее осуществления (методы многомерной статистики – компонентный и факторный анализ, кластерный анализ, метод группового учета аргументов и т.д.) [1-3, 11, 13, 14, 16, 20 и др.]. Эти модели, работая только с исследуемой системой, позволяют автоматически (выборкой групп взаимосвязанных признаков) выделить управляющие параметры системы и районировать их по интенсивности проявления в рамках исследуемой системы [12, 18, 20, 22, 23, и др.].

В свете изложенного представляется целесообразным ввести следующую иерархию системы целей регионального гидрогеологического районирования. Основная, главная (глобальная по системной терминологии) цель выполняемого районирования – учет и оценка ресурсов подземных вод на основе систематизации и обобщения результатов всех предшествующих районированию гидрогеологических исследований. Учету и оценке ресурсов подземных вод должно предшествовать выделение гидрогеологических емкостей (в данном случае – это, в зависимости от уровня генерализации, водоносные горизонты и комплексы, системы водоносных горизонтов и комплексов и т.д.) с законченным в пределах этих емкостей циклом формирования подземных вод, с индивидуальными условиями залегания и циркуляции подземных вод. Выявление закономерностей формирования подземных вод и их химического состава представляет собой функцию системы следующего более низкого уровня. На базе этих закономерностей и выполняется собственно учет и оценка ресурсов подземных вод. И, наконец, целью или задачей третьего, самого низкого уровня является выделение гидрогеологических емкостей (рис.).

Мы не претендуем на исчерпывающее и законченное обобщение системы целей регионального гидрогеологического районирования. Однако, во-первых, предложенная схема позволяет впервые достаточно объективно и четко ответить на вопрос, с какой целью районирование выполняется, во-вторых, она дает представление о соподчинении целей в системе, и, в-третьих, не противоречит достаточно расплывчатым представлениям о целевых функциях регионального гидрогеологического районирования.

В приведенной системе целей общего гидрогеологического районирования четко прослеживается связь и соподчинение общего и частного районирования. Отраслевое же и общее по этому признаку не различаются, так как в качестве последнего выступает искусственно введенное отличие по объекту районирования. Как обратную связь от общего районирования к частному можно назвать то, что районирование по условиям формирования подземных вод на основе прямого показателя (например, по величине естественных и привлекаемых ресурсов подземных вод) возможно только в рамках выделенной гидрогеологической емкости с завершенным циклом их формирования. Естественные и привлекаемые ресурсы выступают также и как характеристика входа в выделенную гидрогеологическую систему (емкость) и выхода из нее, определяющая взаимосвязь емкостей.

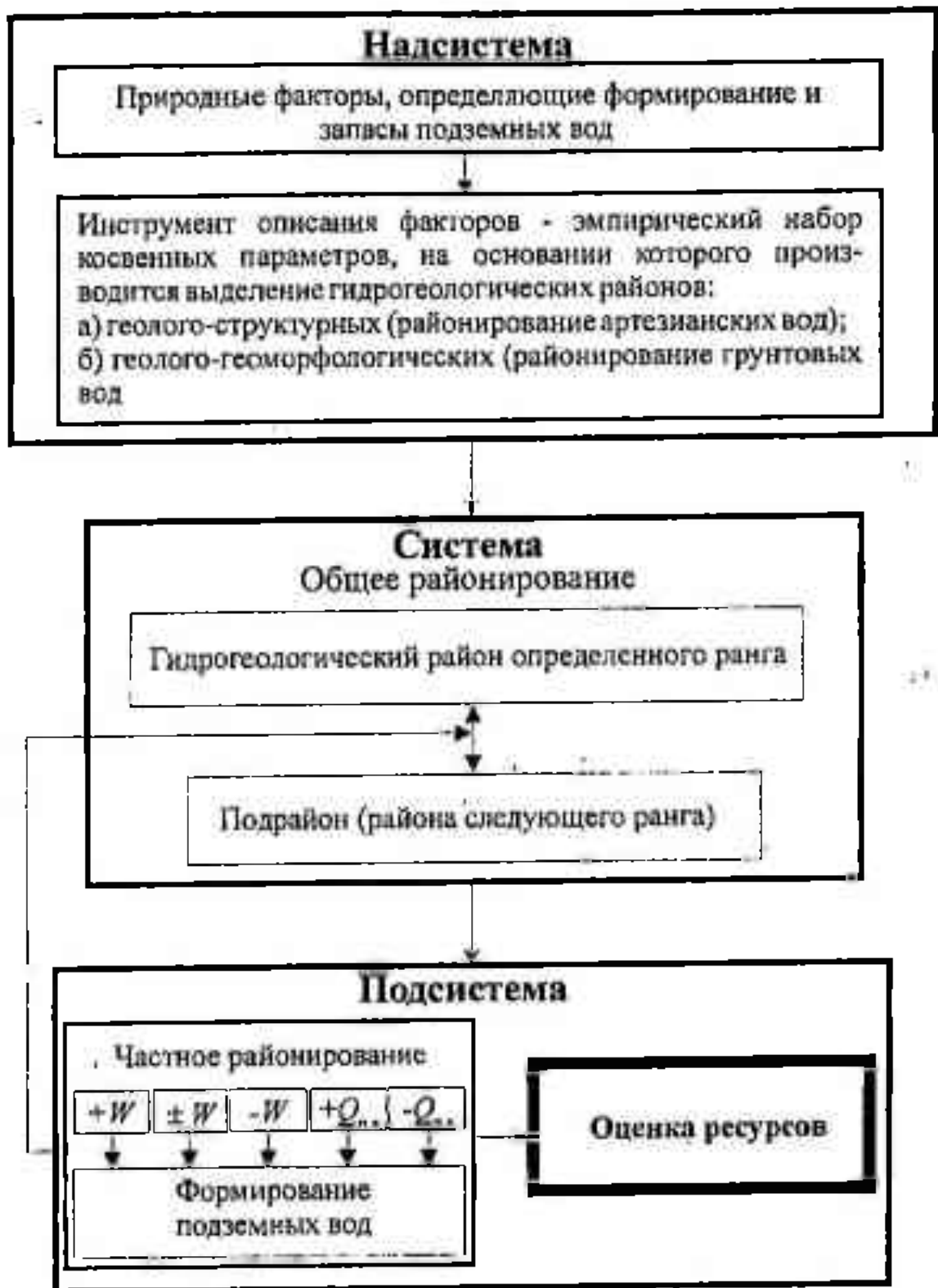


Рис. Общая технологическая схема гидрогеологического районирования (W – инфильтрация или испарение; $Q_{пр}$ – привлекаемые ресурсы)

При входе в исследуемую систему эти управляющие параметры претерпевают изменения в результате воздействия особенностей элементов этой системы. Для территориальных систем управляющие параметры пространственно дифференцируются при входе в систему. В рамках надсистемы такую дифференциацию получить невозможно, поскольку не известна "география" вещественно-энергетических и информационных потоков, преобразующих параметры в системе [27], т.е. основной цели построения исследуемой системы нельзя достичь в рамках надсистемы. Глобальная цель достигается при получении территориально дифференцированной функции (выходов) самой системы – ее подсистемы (см. рис).

Предложенная иерархия целей гидрогеологического районирования работает для всех масштабных иерархических уровней геосистем, для мониторинга и районирования которых как раз и наблюдается практически полное соответствие целей и задач.

Поскольку отсутствие четких критериев для выделения таксонов районирования влечет за собой возможность разработки различных схем даже на основе одних и тех же принципов, трудно выбрать схему районирования, которая полностью отвечала бы всем целевым установкам мониторинга. Тем более что мониторинг ведется, как правило, по достаточно жестко заданной программе, под определенную систему целей. Иными словами, множественность возможных схем гидрогеологического районирования противоречит самой идее мониторинга.

Необходимо принципиальное решение возникшего противоречия.

Сравним ситуацию с экологическим мониторингом [9], в рамках которого намечены пути разрешения противоречий такого рода. Не стоит при этом забывать, что мониторинг подземных вод выступает как подсистема экомониторинга, а подземные воды являются одним из важнейших компонент геозкосистемы. Поскольку окружающая среда – многокомпонентная система, характеризующаяся огромным количеством параметров и их взаимосвязей, экологический мониторинг главной целью ставит выявление функции геозкосистемы для успешного управления ею. Системный анализ определяет функцию системы как новое свойство, появляющееся в результате взаимосвязей элементов [24], и главная задача исследования системы как раз и состоит в поиске этих взаимосвязей. Эффективное решение этой задачи достигается методами математического моделирования и многомерными статистическими моделями. И поскольку прогноз в гидрогеологическом районировании достигается выявлением новых структур,

по которым отсутствуют прямые признаки наличия водных ресурсов, основное внимание должно уделяться моделям довосстановления информации и моделям, работающим в условиях неполной информации.

Комплексное определение большого числа параметров, определяющих функцию геозкосистемы, контролируется ограниченными финансовыми вложениями в систему мониторинга, для успешного изучения этой системы разработан ряд принципов экомониторинга. В качестве основного международного опыт изучения геозкосистем разного иерархического уровня рекомендует принцип проблемной организации, когда на короткое время разворачивается широкая программа наблюдений под определенную проблему (так же и в гидрогеологии при разведке месторождения). После детального изучения этой проблемы, заключающегося в выявлении взаимосвязей наблюдаемых параметров, программа сворачивается, а наблюдения продолжаются по сокращенной сети и/или ограниченному набору параметров [27].

Такую же ситуацию можно наблюдать и в гидрогеологии: при разведке месторождения детально изучаются все качественные и количественные характеристики водных ресурсов, и в то же время эти данные в мониторинговых программах практически не учитываются, хотя информационная и финансовая ее стоимость со временем только повышается. Следовательно, данные детальной разведки месторождений подземных вод можно считать проблемными исследованиями, а сам мониторинг осуществлять по разреженной сети, но при условии общности условий формирования, которые как раз и устанавливает гидрогеологическое районирование.

Такая постановка справедлива для сохраняющейся структуры взаимосвязей, однако, известно, что техногенная динамика геозкосистем по своей скоротечности на многие порядки превышает естественную, а потому является не просто системным процессом, но системно-динамическим, т.е. вполне возможны изменения в структуре взаимосвязей, установленных на момент детальной разведки месторождения. Следовательно, в целях оптимизации сети мониторинга необходимо привлекать информационные технологии не только для довосстановления данных, но и для учета возможных изменений структуры взаимосвязей. В последнее время появился ряд работ, где излагаются подходы и варианты решения такой задачи, доведенные до уровня алгоритмов. В частности, в работах [19-21] нами предложены несложные алгоритмы для решения мало разра-

ботанной проблемы учета изменения структуры взаимосвязей. Не останавливаясь на формальной постановке задачи, приведем лишь пример их практической реализации для мониторинга подземных вод в районе породных отвалов разреза "Восточный" Экибастузского угольного месторождения. Последний осуществлялся по полной сети опробования, созданной в 1995 г. В связи с выходом из строя большинства скважин гидрогеохимическое опробование 1999 г. осуществлялось по сокращенной более чем вдвое сети скважин.

Точность результатов восстановления можно оценить по точности восстановления значений минерализации подземных вод и концентраций макроэлементов в них по выборочным скважинам сохранившейся в 1999 г. режимной сети. Эти значения минерализации и концентраций моделью восстанавливаются тоже (см. табл.). Приходится восстанавливать более 130 % количества имеющихся объектов, поэтому большой точности восстановления ожидать, естественно, не приходится. Тем не менее, картина соотношений концентраций различных признаков в скважине и между скважинами в основном восстанавливается правильно.

Таблица

Восстановленные значения результатов макрокомпонентного гидрогеохимического опробования за 1999 г.

№№ скв.	Значения концентраций, мг/дм ³ (в знаменателе результаты фактических замеров)						
	<i>M</i>	<i>Ca</i> ²⁺	<i>Mg</i> ²⁺	<i>Na</i> ⁺ + <i>K</i> ⁺	<i>HCO</i> ³⁻	<i>Cl</i>	<i>SO</i> ₄ ²⁻
100	1049,6	27,4	14,6	277,7	351,1	187,3	221,6
101	<u>793,9</u>	<u>19,6</u>	<u>5,7</u>	<u>195,1</u>	<u>297</u>	<u>58</u>	<u>211,8</u>
	673,3	16,2	11,0	171,8	225,8	55,6	158,1
102	851,6	21,5	7,3	218,7	341,2	94,3	193,6
104	<u>1356,6</u>	<u>36,7</u>	<u>26</u>	<u>361,5</u>	<u>323,1</u>	<u>330,3</u>	<u>284,6</u>
	1108,1	30,4	18,4	301,5	311,2	114,7	301,7
105	<u>683,6</u>	<u>16,4</u>	<u>3</u>	<u>152</u>	<u>235,2</u>	<u>6,3</u>	<u>220,3</u>
	999	16,2	9,8	271,1	384,1	86,9	214,9
106	2449,5	68,3	60,9	682,5	324,2	798,6	503,7
107	<u>2404,8</u>	<u>66,9</u>	<u>59,4</u>	<u>668,2</u>	<u>315,5</u>	<u>776,8</u>	<u>500,9</u>
	1671,8	32,4	22,1	461,4	323,4	184,1	629,7
108	1187	31,7	19,3	324,6	395	258,2	219,1
109	<u>1214,3</u>	<u>32,5</u>	<u>20,2</u>	<u>332,6</u>	<u>394,9</u>	<u>270,4</u>	<u>224,2</u>
	636,9	8,1	7,4	167,5	311,2	45,2	83,1

№№ скв.	Значения концентраций, мг/дм ³ (в знаменателе результаты фактических замеров)						
	<i>M</i>	<i>Ca</i> ²⁺	<i>Mg</i> ²⁺	<i>Na</i> ⁺ + <i>K</i> ⁺	<i>HCO</i> ³⁻	<i>Cl</i>	<i>SO</i> ₄ ²⁻
110	6216,7	182	197,6	1756,8	251,7	2573,2	1142,1
111	6142,4	179,8	195,2	1733,6	241,8	2538,7	1134
	852,7	56,7	22,1	160,1	64,1	431,1	122,7
112	6293,7	184,4	200,6	1778,9	252,2	2611,9	1152,1
	4010	117,4	52,8	1207	256,3	1455,8	877,5
113	2229,2	63,1	57,2	616,1	339,5	743,2	416,4
	1314	12,1	9,8	381,1	396,6	201,5	307,9
114	2507,5	71,9	69,2	688,9	306,9	888,1	462,4
115	2191,9	61,9	55,8	605,6	340,7	725,2	410,4
116	2068,8	57,9	49,2	589,4	446,1	665,2	347,1
117	1845,4	51,8	41,2	544,6	572,4	588,5	230,2
118	2586,6	73,9	69,9	725,4	377,2	917,8	452,1
119	14631,4	449,3	541,5	4123,6	185,5	6970,5	2122,2
	14434	445,3	569,5	4006,1	244,1	7209,4	1958,4
121	401,9	16,1	34,5	171,2	184,7	50	62,3
122	1678,6	46,7	39,3	441,3	252,9	484,7	364
Сред.	2855,5	81,6	80,3	791,9	319,3	1046,4	517,1
знач.	2856,2	82,3	80,9	792,7	320,4	1047,0	517,9
Дис-	4463,3	140,6	183,9	1248,3	69,9	2354,4	599,4
перс.	3097,8	97,2	124,2	875,2	89,3	1584,3	481,0

В показанном примере реализован один из самых простых вариантов алгоритма организации мониторинга – сокращающаяся сеть при сохранении числа опробуемых параметров. Возможна реализация и других вариантов – сохранение числа объектов при уменьшении количества наблюдаемых параметров, одновременное уменьшение числа точек и параметров наблюдения, а также ретроспективный анализ (восстановление более полного набора объектов и параметров за прошедший период, что может оказаться полезным при восстановлении "ненарушенных" условий). Предложенный метод не уступает методам теории распознавания образов по возможности восстановления количества информации. Дополнительно к возможностям этой теории восстанавливает объекты целиком (по полному набору параметров) в условиях изменяющегося "обучающего об-

раза", а потому может оказаться весьма полезным при оптимизации сети мониторинга.

Основными результатами работы можно считать следующие:

- на всех масштабных иерархических уровнях гидрогеологических систем устанавливается соответствие целей и объектов исследования мониторинга подземных вод и гидрогеологического районирования.

- задача выделения иерархической системы целей мониторинга легко решается, если гидрогеологическое районирование реализует системный подход, обеспечиваемый учетом полного цикла формирования подземных вод геосистемы соответствующего иерархического уровня.

- использование различных принципов и отличительных признаков районирования приводит к выделению на одной и той же территории несопоставимых таксономических единиц, что исключает возможность их последующего сравнительного анализа. А отсутствие четких критериев для выделения таксонов влечет за собой возможность разработки различных схем даже на основе одних и тех же принципов.

- на данном этапе развития гидрогеологического районирования, в качестве рабочей модели оптимизации сети мониторинга подземных вод рекомендуется принцип проблемной организации экологического мониторинга, первый опыт алгоритмической реализации которого показал удовлетворительную точность при восстановлении неполного числа наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
2. Алгоритмы и программы восстановления зависимостей / В.Н. Вапник, Т.Г. Гладкова, В.А. Кашцев и др. – М.: Наука, 1984. – 815 с.
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
4. Бураков М.М., Веселов В.В., Павличенко Л.М. Современные проблемы гидрогеологического районирования и возможные пути их преодоления // Вестник КазГУ. Серия географическая. – 2000. – № 2 (11). – С. 71-91.
5. Бураков М.М., Махмутов Т.Т. Районирование Центрального Казахстана по степени потенциальной обводненности месторождений по-

- лезных ископаемых // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях: Вопросы осушения и экологии, специальные горные работы и геомеханика. Материалы Второго Международного симпозиума (Белгород, 24-28 мая 1993 г.). – Белгород: ВИОГЕМ, 1993. – С. 113-118.
6. Бураков М.М., Махмутов Т.Т., Ахметов Ж.А. О районировании территорий по потенциальной обводненности рудных месторождений // Геология и разведка недр Казахстана. – 1996. – № 1. – С. 31-36.
 7. Бураков М.М., Подольный О.В. К концепции оптимизации наблюдательной сети Государственного мониторинга подземных вод // Гидрометеорология и экология. – 1998. – № 3-4. С. – 127-137.
 8. Бураков М.М., Павличенко Л.М. Гидрогеологическое районирование с позиций системного анализа // Современные проблемы геоэкологии и созологии. Доклады к Международной научно-практической конференции (Алматы, 22-23 января 2001 г.). – Алматы: "Шартарал", 2001. – С. 70-76.
 9. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды. // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1975. – № 3. – С. 13-25.
 10. Веселов В.В. Методология гидрогеологического районирования и стратификации // Доклады АН РК. – 1992. – № 3. – С. 42-47.
 11. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. – М.: Мир, 1981. – 213 с.
 12. Зальцберг Э.А., Деч В.Н. Исследование и прогноз режима подземных вод с помощью многомерного спектрального и компонентного анализов // Разведка и охрана недр. – 1979. – № 6. – С. 40-46.
 13. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными объектами. – Киев: Техника, 1975. – 311 с.
 14. Йереског К.Г., Клован Д.И., Реймент Р.А. Геологический факторный анализ. – М.: Недр, 1980. – 223 с.
 15. Ковалевский В.С., Семенов С.М. Оптимизация наблюдательных сетей мониторинга подземных вод // Вода: экология и технология. Тезисы докладов Третьего Международного конгресса (Москва, 25-30 мая 1998 г.). – М.: СИБИКО Интернэшнл, 1998. – С. 524-525.
 16. Многомерный статистический анализ и вероятностное моделирование реальных процессов. – М.: Наука, 1990. – 478 с.

17. Островский Л.А., Антыпко Б.Е., Конюхова Т.А. Методические основы гидрогеологического районирования территории СССР. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
18. Павличенко Л.М. Исследование региональных гидрогеохимических процессов на основе компонентного анализа. Дис. канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1984. – 189 с.
19. Павличенко Л.М. К проблеме организации и оптимизации геозкологического мониторинга // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2000. – № 5. – С. 95-108.
20. Павличенко Л.М. Система многомерных статистических моделей анализа неполных эколого-гидрогеологических данных // Вопросы изучения водных ресурсов Центральной Азии. – Алматы: Гылым, 1993. – С. 89-103.
21. Павличенко Л.М. К технологии построения моделей прогноза изменений экогеосистем // Гидрометеорология и экология. – 2000. – № 1. – С. 37-60.
22. Павличенко Л.М., Веселов В.В. Системный подход к построению моделей сложных природных процессов // Вестник КазГУ. Серия географическая. – 1997. – № 4. – С. 25-29.
23. Павличенко Л.М., Шапиро С.М. Применение методов многомерной статистики для прогноза процессов загрязнения подземных вод на основе оценки изменения их химического состава // Теоретические основы и методика гидрогеологического прогноза загрязнения подземных вод (Современные проблемы биосферы). – М.: Наука, 1990. – С. 137-141.
24. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Наука, 1989. – 477 с.
25. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 319 с.
26. Чепурных Н.В., Новоселов А.Л. Планирование и прогнозирование природопользования: Учебное пособие. – М.: Интерпракс, 1995. – 288 с.
27. Экоинформатика: Теория. Практика. Методы и системы / Под ред. В.Е. Соколова. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 495 с.

Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина МОН РК
Казахский государственный национальный университет им. Аль-Фараби

Статья публикуется в порядке обсуждения

ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫ МОНИТОРИНГІН ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ АУДАНДАСТЫРУ ТҮРҒЫСЫНАН ҰЙЫМДАСТЫРУДЫҢ ЖҮЙЕЛІ ПРИНЦИПТЕРІ

Геол.-мин. ғылымдарының канд. М. Бураков
Техн. ғылымдарының канд. Л.М. Павличенко

Бақылау торабын оңтайландыру және оны жерасты сулары мемлекеттік мониторингі жүйесін іске асыру үшін қайта бағдарлау мәселелерінің гидрогеологиялық аудандастыру схемаларын жүйелендіру мәселесімен тығыз байланысы көрсетілген. Жерасты сулары мониторингі торабын ұйымдастырудың жүйелі принциптері қарастырылған. Гидрогеологиялық аудандастыру мақсаттары жүйесі мен оны іске асыру әдіс-тәсілдері ең қарапайым нұсқа үшін формализацияланған экологиялық мониторингі проблемалық ұйымдастыру принципімен салыстырылады, ол нұсқа — сынамаланатын көрсеткіштерді сақтай отырып торапты қысқарту.

УДК 622 642.3(088.8)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ
ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ**

Докт. техн. наук

Т.К. Ахмеджанов

Г.Ж. Кенжетаяев

Теоретически рассмотрен тепловой баланс стенок труб нефтепровода и потери тепла излучением. На основании анализа предложен способ изоляции труб для уменьшения их охлаждения из светопрозрачной полимерной пленки.

Добыча нефти на ряде месторождений Казахстана (Жетыбай, Жанаозен и др.) показало их высокую степень вязкости при понижении температуры. При этом вязкость зависит не только от состава нефти, т.е. наличия в ней асфальто-смоло-парафинистых образований, т.е. частиц парафино-смолистых веществ, но и температуры. Взаимодействие таких частиц между собой и жидкой фазой определяет законы вязкости, застывания и течения. При высоких температурах течение такой нефти подчиняется закону Ньютона. Точка застывания нефти определяется температурой, при которой теряется текучесть продукта. Температура застывания зависит от химического состава нефти и главным образом от содержания высокомолекулярных парафиновых углеводородов с относительно высокой температурой плавления.

При охлаждении нефти в некотором интервале температур происходит выпадение частиц наиболее тяжелых углеводородов, в основном парафинов, в результате чего образуется гель и теряется подвижность. Парафин способен при охлаждении связать весь объем жидкого продукта, несмотря на его небольшое содержание, благодаря чрезвычайно большому количеству образующихся кристалликов. В связи с этим переход нефти из жидкого состояния в твердую фазу происходит не в одной определенной температурной точке, а в некотором интервале температур. Этот переход из одного состояния в другое сопровождается загустением, при котором теряется подвижность продукта.

Так на нефтедобывающей скважине снижение температуры нефти в промежутке расстояния от забоя скважины до устья колеблется в интервале от 75 °С до 34 °С, что ниже температуры разжижения парафиновых смол. Это приводит к образованию асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО) на стенках устьевого оборудования и штанге. В результате указанного уменьшается «свободное» сечение устья скважины, что в конечном итоге приводит к падению давления во всей системе.

Для устранения АСПО на месторождениях по добыче высоковязкой нефти применяется ингибиторная защита. При этом в моменты падения давления в устье скважин непрерывно подаются поверхностно-активные вещества (ПАВ) и осуществляется интенсификация работы насосов.

Металлические поверхности устьевого оборудования скважины не имеют теплоизоляции, и поэтому нагретые за световой день открытые поверхности в условиях сухого и жаркого климата Мангистау будут отдавать тепло окружающей атмосфере в ночное время под воздействием эффективной температуры небосвода. Охлаждение стенок труб при этом способствует в значительной мере парафиноотложению. Таким образом, основные теплопотери с металлических поверхностей устьевого оборудования происходят за счет теплопередачи излучением. Теплоотдача от открытых наружных поверхностей устьевого оборудования обусловлена вынужденной естественной конвекцией. Теплообмен нефти со стенками труб протекает также в силу наличия конвекции. Для вертикальной стенки соответствующее критериальное уравнение теплоотдачи имеет вид

$$N_{изк} = C(Gr_{жс} \cdot Pr_{жс})^n (Pr_{жс} / Pr_{жс0})^m, \quad (1)$$

где $\bar{N}_{изк} = d_{жс} h / \lambda_{жс}$ - усредненный критерий Нуссельта; $Gr_{жс} = \beta_{жс} h^3 \Delta t / \lambda_{жс}$ - критерий Грасгофа; $Pr_{жс} = \nu_{жс} / d_{жс}$ - критерий Прандтля; C, n, m - числовые параметры; h - расстояние по вертикали от начала образования пограничного слоя до рассматриваемой точки, м.

Параметры C, n и m по мере охлаждения нефти изменяются, так как меняются режимы движения в пограничном слое.

Для повышения температуры в устье скважины и разогрева высоковязкой нефти, необходимо рассчитать количество тепла, требуемого для достижения температуры разжижения парафина, т.е. 54 °С.

Рассмотрим уравнение теплового баланса вида

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{неб}, \quad (2)$$

где Q_1 - количество тепла, расходуемое на разогрев нефти; Q_2 - тепловые потери в окружающую среду; Q_3 - тепло, необходимое для разогрева охлажденных поверхностей устьевого оборудования; $Q_{неб}$ - тепловые потери излучением под воздействием эффективной температуры небосвода.

Величина Q_1 определяется как

$$Q_1 = G_1^{np} \cdot C_1 \cdot \Delta t_1, \quad (3)$$

где G_1^{np} - объем разогреваемого слоя в сечении трубы; C_1 - удельная теплоемкость нефти; Δt_1 - изменение температуры разогреваемого продукта.

Коэффициент температуропроводности нефти можно представить в виде

$$a = \lambda / C\gamma, \quad (4)$$

где λ - коэффициент теплопроводности нефти; C - теплоемкость нефти; γ - удельный вес нефти.

Для нефти месторождений Жетыбай и Жанаозен экспериментально получено уравнение изменения теплоемкости, т.е.

$$C_{p1} = C_{p30} [\lambda + \beta(t - 30)], \quad (5)$$

где C_{p30} - изобарная теплоемкость нефти при температуре $t = 30$ °С.

Расчет стадии застывания нефти в устье скважины сводится к решению задачи Стефана с движущейся границей. Решение дифференциальных уравнений производится с использованием метода конечно-разностных элементов. При этом радиус устья трубы, время застывания выбраны так, чтобы критерий Фурье, образованный из этих величин был менее 0,5, т.е.

$$F_0 = \frac{\lambda}{\rho_r C_r} \frac{\Delta r}{(\Delta S)^2} < 0,5 \quad (6)$$

Если около стенок трубы уже образовались один или несколько слоев застывшего материала толщиной ΔS каждый, то расчет изменения их температур производится с помощью следующего конечно-разностного уравнения, вывод которого основан на известных положениях, т.е.

$$T_{n,j+1} = T_{n,j} + \frac{2\pi_r \Delta \tau}{\rho_r C_r (\Delta S)^2 (R_n + R_{n+1})} \cdot [R_n (T_{n-1} - T_{n,j}) E - R_{n+1} (T_{n,j} - T_{n+1})] \cdot G, \quad (7)$$

где $T_{n,i}$ и $T_{n,i-1}$ - прежняя относительная температура i -го слоя и новые температуры через время Δt ; R_n и R_{n+1} - наружный и внутренний слой рассчитываемого слоя (устья скважины); T_{n-1} , T_{n+1} - температура соответственно предыдущего и последнего слоя. Величина коэффициента E определяется как $E = 2 \Delta S / S_n + \Delta S_i$ - для первого слоя ($n=1$), где S_n - толщина застывшего слоя парафина.

Термическое сопротивление стенок труб и теплоотдачу относительно окружающего воздуха заменяем сопротивлением слоя застывшего парафина толщиной

$$S_n = \lambda_{\text{см}} \left(1/\alpha_0 + \frac{\delta_{\text{см}}}{\lambda_{\text{см}}} \right),$$

при $G = 2 \Delta S / \Delta S + \delta(n+1)i$ для последнего из полностью застывших слоев, где $\delta(n+1)i$ - толщина нефти, в последующем не полностью застывшем слое.

Тогда, тепловые потери стенок устьевого трубы и оборудования определим из выражения:

$$U_{\text{ном}} = g_{\text{ном}} \cdot F, \quad (8)$$

где $g_{\text{ном}} = \alpha(t_2 - t_6)$ - удельные теплотери кДж/м^2 ; α - коэффициент теплопередачи при естественной конвекции. Таким образом, увеличение слоев парафиноотложений затрудняет теплообмен между жидкостью и окружающим естественным теплом, за счет больших теплотерь стенок труб.

Из вышесказанного следует, что наряду с применением ингибиторов, необходимо до минимума свести теплотери наружной поверхности устьевого оборудования, особенно относительно эффективной излучательной способности в ночное время.

Небосвод можно рассматривать как черное тело при некоторой эффективной температуре ниже температуры окружающего воздуха, что способствует переизлучению теплового потока с более теплых поверхностей. Этот эффект излучательной способности в условиях сухого и жаркого климата используется для радиационного охлаждения помещений, с помощью применения металлических крыш и кровель.

Поток результирующего излучения, падающий на поверхность, имеющую степень черноты ε и температуру T , определяется из уравнения

$$Q = \varepsilon A \cdot \delta (T_{\text{неб}}^4 - T^4), \quad (9)$$

Эффективная температура небосвода учитывает неоднородность температуры атмосферы и свойства ее излучать только в определенных диапазонах длин волн. Атмосфера по существу прозрачна в длинноволновой области волн 8-14 мкм, а вне этого «окна» атмосфера излучает в полосах, занимающих большую часть инфракрасной области спектра.

Для снижения теплотерь с открытых поверхностей труб и устьевого оборудования предлагается использовать защитную оболочку из светопрозрачной полимерной пленки с облегченным каркасом из проволоки. Устройство обладает конструктивной и принципиальной новизной и может быть использовано на нефтедобывающих скважинах, а также нефтепроводах для уменьшения вязкости нефти.

Казахский национальный технический университет

ЖОҒАРЫТҮТҚЫР МҰНАЙДЫ АЛУ ЖӘНЕ ТАСЫМАЛДАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУДЫҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ҚАУІПСІЗ ЖОЛДАРЫ

Техн. ғылымдарының докт. Т.К. Ахмеджанов
Ф.Ж. Кенжетаев

Мұнайжүргізіш құбырлардың қабырғаларының жылу балансы мен сәуле шығарудың жылу жоғалтуы теория тұрғысынан қарастырылған. Талдау негізінде құбырлардың сууын кеміту үшін оларды жарықөткізіш қабыршақпен орау тәсілі ұсынылған.

УДК 626.821.312

**ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОГО ЗАНОСА КАНАЛОВ ПЕСКОМ НА ИХ
ЭКСПЛУАТАЦИЮ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

Канд. техн. наук С.М. Койбаков

С.Р. Турганалиев

Рассматривается влияние ветра на эксплуатацию открытых мелиоративных каналов в условиях дефляции почв, а также закономерности заносимости русел каналов продуктами ветровой эрозии.

Опыт эксплуатации оросительных систем в Северном Казахстане, где почвы представлены преимущественно легкими суглинками и супесями, показывает, что русла открытых мелиоративных каналов подвергаются заносу песком, кураем «перекати-поле» и другими продуктами ветровой эрозии. Внутрихозяйственная оросительная открытая сеть, в том числе и каналы - оросители под ЭДМФ «Кубань» также заносятся песком, «перекати-поле» и т.д. В результате такого явления, пропускная способность каналов резко уменьшается, в некоторых случаях поперечное сечение забивается полностью. Ежегодная очистка русел каналов от продуктов ветровой эрозии малопродуктивными механизмами, как это принято в настоящее время, приводит к значительным материальным затратам. Кроме того, заносы каналов продуктами ветровой эрозии повышают мутность воды, что приводит к быстрому изнашиванию деталей дождевальной техники. К тому же полив дождеванием с использованием мутной воды вызывает образование пленки на листьях растений, что способствует снижению фотосинтезирующей деятельности.

Процессы заносов русел каналов в основном происходят в активные эрозионные периоды, которые наблюдаются дважды в году - весной (апрель-май) и осенью (сентябрь-октябрь). Именно этим периодам сопутствуют благоприятные для ветровой эрозии условия, когда поверхностный слой почвы наиболее разрушен и отсутствует снежный или растительный покров [1].

Не все почвы подвержены эрозионным процессам в одинаковой степени. В их противозрозионной устойчивости наибольшее значение

имеют структура, механический состав, и другие свойства, определяемые генезисом той или иной почвы [1].

Большое влияние на интенсивность и характер эрозионных процессов оказывают также способы обработки почвы, применяемая агротехника возделывания культур и сами культуры.

Натурные исследования на действующих оросительных системах и модельные в аэродинамической трубе показывают, что все открытые каналы, эксплуатируемые в условиях ветровой эрозии в той или иной степени подвергаются заносам. Формирование заносов в руслах каналов следует рассматривать как результат одновременного проявления двух факторов: наличие двухфазного песчано-ветрового потока и наличие зон аэродинамических теней, образующихся при обтекании сечений каналов потоком.

Пороговая (критическая) скорость ветра, соответствующая началу переноса, зависит от физико-механических свойств частиц и колеблется в пределах 3...8 м/с [1,2]. Частицы могут переноситься потоком ветра путем скольжения и перекатывания, прыжками и сальтацией, а также во взвешенном состоянии. Формирование заносов в руслах происходит постепенно, начиная с наветренной бровки канала, с некоторым уклоном по направлению действия ветра, называемым естественным откосом заноса [3].

Обязательными условиями возникновения двухфазного, в частности ветро-песчаного потока, приводящими к заносу русел каналов продуктами ветровой эрозии являются: наличие открытой незащищенной от растительного или снежного покрова почвы легкого или среднего механического состава невысокой влажности: наличие ветра скоростью больше критической для данного вида почвы.

Критическая скорость ветра меняется в зависимости от размера формы и плотности частиц. Наиболее подвижны частицы диаметром 0,05...0,5 мм [2].

Основной способ перемещения почвенных частиц - скачкообразный. Доля скачущих частиц составляет примерно 2/3 от переносимой песчаной массы, а взвешенные и перекатывающиеся вместе - около 1/3 [2].

При действии ветра на поверхность почвы частицы выводятся из состояния покоя под действием силы лобового давления. Под влиянием же силы трения создается опрокидывающий момент и частицы могут отрываться и в последующем начинается процесс перекатывания по поверхности почвы. Турбулентность воздушного потока с постоянными пульса-

циями скоростей и давлений усиливают аэродинамические импульсы, вызывающие подъем частиц и перенос их в воздушном потоке. Отрыв частицы и перекатывание их по поверхности почвы происходит в основном при ударе частицы по шероховатости поверхности или при ударе о другие частицы. Частицы попадают в зону воздушного потока с большой скоростью. Поднятая в воздух частица, разгоняется потоком и имеет в точке падения скорость значительно большую, чем при взлете. Падая с большой скоростью, частица получает ударный импульс, сила которого во много раз может превышать вес частицы и, следовательно, может осуществить отрыв частицы от поверхности и подъем ее на большую высоту. Когда подъемная сила станет меньше силы тяжести, частица начнет опускаться. Под действием горизонтального движения потока весь путь от подъема до падения она совершает по некоторой траектории. Угол падения при этом находится в пределах $10^{\circ} \dots 16^{\circ}$ [2].

Рассмотренные выше условия отрыва, переноса и отложения частиц грунта под действием ветра соответствует обычным открытым территориям. Нас же интересуют условия и характер проявления указанных процессов и явлений на мелиоративных системах, характеризующихся сетью открытых каналов. Большое разнообразие форм, типов и параметров сечений каналов на мелиоративных системах порождает такое же количество разнообразных картин обтекания их потоком ветра, следовательно, и условиями заносимости продуктами ветровой эрозии. По теории Г. Н. Абрамовича, при обтекании выемок, поток растекается с бровки под определенным углом к горизонту, равным 10° , что соответствует уклону с коэффициентом откоса равным 6,0 [4]. Линии, проведенной под таким углом, соответствует линия нулевой скорости, выше которой поток сохраняет прямолинейное поступательное движение, а ниже - обратное циркулярное. Верхняя граница растекания потока при обтекании выемок равна углу 5° , выше которой скорость ветра соответствует скорости невозмущенного потока.

По мере уменьшения угла атаки ветра, в силу постоянства угла растекания потока с бровки по направлению его действия, соответственно будет уменьшаться зона возвратных течений в русле. В зависимости от крутизны откоса канала, при некотором значении угла атаки ветра, русло полностью продувается потоком без образования зон аэродинамических теней.

Модельные исследования проводились в аэродинамической трубе Т-503 лаборатории аэродинамики Новосибирского государственного тех-

нического университета. В результате проведения комплекса экспериментов по установлению закономерностей обтекания моделей каналов воздушным потоком, нами установлено следующее. При обтекании выемок происходит отрыв потока с наветренной бровки, которая растекается под углом 10° . Ниже этой плоскости растекания в выемке образуется зона аэродинамической тени. Если канал проходит в полунасыпи или насыпи, то на наветренном склоне насыпи и над насыпью скорость потока возрастает за счет сужения потока по высоте. А с подветренной стороны насыпи, также как и в выемке, образуется зона аэродинамической тени.

В зонах аэродинамических теней наблюдается интенсивное выпадение из двухфазного потока твердых его компонентов в виде заносов. Причем более интенсивно этот процесс протекает сразу же за бровкой. Это объясняется тем, что траектория полета частиц самых нижних слоев потока при осаждении наиболее короткая, где сосредоточена подавляющая часть переносимых частиц. Поэтому шлейф заносов в голове имеет более мощный слой по сравнению с хвостовой его частью. По мере поступления дефлируемого материала, шлейф заноса постепенно растет в направлении действия ветра.

Процесс формирования заноса на каналах длится до тех пор, пока сечение не обтекается потоком плавно без образования зон аэродинамических теней. Очертание поверхности законченного заноса представляет наклонную по направлению действия ветра плоскость. На месте сопряжения с наветренным откосом выемки поверхность заноса представляет главную удобообтекаемую вогнутую поверхность. Уклон поверхности заноса вдоль направления действия ветра, называемый коэффициентом естественного откоса заноса, зависит от физико-механических свойств частиц грунта, участвующих в переносе, а также от величины скорости ветра и изменяется в пределах 6...12 [2,3].

Какую бы форму сечения канал не имел, при одинаковых других условиях, коэффициент естественного откоса имеет постоянное значение. Поэтому объем заноса и высота отложений в русле по ее ширине зависят от параметров сечения - коэффициента откоса m , глубины выемки h , ширины канала по дну b , а также от угла атаки ветра α . В общем случае площадь поперечного сечения или объем заноса в канале на единицу его длины можно представить в виде неявной функции от многих переменных:

$$F = f(m_0, h, b, m, \alpha).$$

Коэффициент естественного откоса заноса определяется как функция от скорости ветра u_0 и пороговой (критической) скорости начала переноса $u_{кр}$: $m_0 = f(u_0, u_{кр})$ или в градусах $\varphi = f(u_0, u_{кр})$.

С увеличением скорости ветра, естественный откос заноса становится более крутым и стремится к линии нулевой скорости, т.е. $u_0 \rightarrow \infty$; $m_0 \rightarrow 5,8$ или $\varphi \rightarrow 10^\circ$.

Путем полного учета всех факторов, влияющих на заносимость, и принятия соответствующих мероприятий на стадии проектирования и строительства оросительных систем можно свести к минимуму затраты на борьбу с золовыми наносами русел в период их эксплуатации. К таким мероприятиям относятся: прокладка трассы каналов по наименее заносимым участкам местности; компоновка линейных сооружений и зданий в плане с учетом аэродинамических особенностей обтекания их ветровым потоком, проектирование оптимального, с точки зрения взаимодействия потока с руслом, поперечного профиля канала; оптимальное расположение полей и системы защитных лесных полос относительно направления преобладающих ветров; проектирование противозрозионных севооборотов и обработка полей.

ВЫВОДЫ

1. В условиях северного Казахстана, где почвы представлены преимущественно в виде легких суглинков и супесей подвержены дефляции, и как следствие заносу русел открытых мелиоративных каналов продуктами ветровой деятельности.
2. Формирование заносов в руслах каналов следует рассматривать как результат возмущения ветро-песчаного потока в пределах зоны влияния сооружения.
3. Степень подверженности каналов заносам в условиях дефляции почв зависит от конструктивных особенностей и геометрических параметров сооружения, а также угла воздействия ветра. Максимальная заносимость наблюдается при перпендикулярных к направлению канала ветрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джанпейсов Р. Эрозия и дефляция почв Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1977. - 232 с.

2. Кальянов К.С. Динамика процессов ветровой эрозии почв. - М.: Наука, 1976. - 155 с.
3. Койбаков С.М. Закономерности формирования снежного заноса на каналах.// Ледотермические проблемы в Северном гидротехническом строительстве и вопросы продления навигации. Сб. материалов конференции и совещания / Л., Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989. - С. 224 – 228.
4. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй.- М.: Наука, 1984 - 716 с.

Таразский Государственный университет им. М.Х. Дулати

СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ЖЕЛДІ КАНАЛДАРҒА ҚҰМ ҚҰЙЫЛУЫНЫҢ ОЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУҒА ЕТЕТІН ӘСЕРІ

Техн.ғылымдарының канд. С.М. Қойбақов
С.Р. Тұрғанәлиев

Топырақ дефляциясы жағдайындағы ашық мелиоративті каналдарды пайдалануға желдің әсері және сондай-ақ канал арналарын жел эрозиясы өнімдерімен қайырлану заңдылықтары қарастырылады.

УДК 626.1

К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕНОСА ВЕТРОМ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Канд. техн. наук С.М.Койбаков

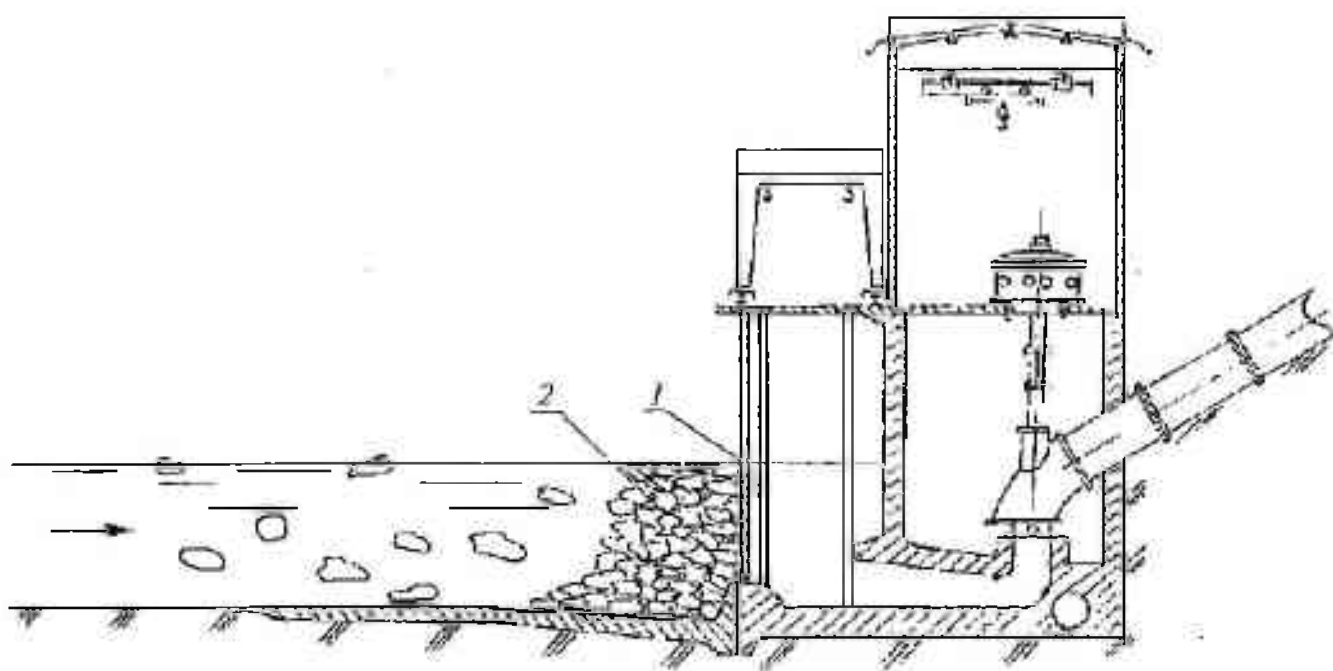
Рассматриваются вопросы накопления в руслах каналов круглогодичного действия сорной растительности «перекати - поле» и влияние их на надежность работы сооружений. Предлагается способ предотвращения заносимости русел каналов продуктами ветровой деятельности.

Опыт эксплуатации канала Иртыш-Караганда, расположенного в степной зоне показывает, что искусственные водотоки подвергаются заносу их русел сорной растительностью «перекати-поле», нанося вред, как надежности работы объекта, так и экологической устойчивости и качества воды.

На значительных просторах казахстанских степей, не занятых под сельскохозяйственные угодья в большом количестве произрастает сорная растительность «перекати-поле». В связи с распадом крупных хозяйств - колхозов и совхозов, заметно сократились площади сельскохозяйственных угодий, что способствует еще большему увеличению сорной растительности.

Сильные и частые ветры в осенний период, характерные для значительной территории Северного и Центрального Казахстана, приводят к массовому срыву и переносу сухой растительности на большие расстояния. Встречаясь на пути с водными объектами курай, перекачиваемый ветром, полностью поглощается водным потоком. Далее курай переносится по течению до встречи с преградой, какими могут являться насосные станции, перегораживающие и водозаборные сооружения на каналах. Перед такими сооружениями образуются огромные скопления сорной растительности как показано на рис. 1.

Вследствие этого явления резко ухудшаются условия водозабора насосными агрегатами, возникает угроза их остановки. В подводящем канале уровень воды резко поднимается, вызывая аварийную ситуацию. Такое явление неоднократно наблюдалось в практике эксплуатации канала



*Рис.1 Скопление сорной растительности "Перекачи поле" перед сороудерживающей решеткой насосной станции.
1 – сороудерживающая решетка; 2 – скопление сорной растительности*

Иртыш-Караганда, предназначенного для круглогодичного водоснабжения питьевой водой ряд населенных пунктов Павлодарской и Карагандинской областей, а также предприятия Караганда-Темиртауского промышленного комплекса.

В связи с осуществлением проекта переброски воды из канала Иртыш-Караганда в верховья р. Ишим для обеспечения г. Астаны чистой водой актуальность проблемы возрастает. Нетрудно представить размер ущерба от прекращения водообеспечения вышеуказанных объектов и населения по трассе канала. Эти обстоятельства требуют разработки конструктивных решений, направленных на повышение надежности работы каналов и обеспечить гарантийное водообеспечение потребителей.

Кроме того, накопления в водоеме сорной растительности «перекати-поле» и продуктов их распада, как показала практика эксплуатации канала Иртыш-Караганда, приводит к развитию процессов эвтрофирования и ухудшения качества воды. По данным Амиргалиева Н.А. в результате деградации сорной растительности «перекати-поле» в водоеме содержание биогенных элементов включает: органический углерод, азот минеральный, фосфор минеральный растворимый [1]. Поэтому на проблему заносимости русла канала сорной растительностью «перекати-поле» надо смотреть и с точки зрения экологической устойчивости и качества воды водоемисточника.

Работы по восстановлению качества воды согласно санитарно-гигиенических норм, требует определенных затрат. Затраты будут сведены до минимума при выполнении профилактических мероприятий, связанных с предотвращением попадания в канал «перекати-поле». Причем, надо учесть то обстоятельство, что надежность и эффективность водоохраных мероприятий тем выше, чем на более ранней стадии процесса они осуществлены.

Ликвидация последствий таких явлений, как забивка сороудерживающих решеток насосных станции на каналах сорной растительностью задача не простая. Отсутствует техника, которая бы позволила извлекать затонувшую массу сорной растительности с большой глубины, причем при сложном доступе, как с воды, так и с суши. Использование высокооплачиваемых работ водолазов для очистки сороудерживающих решеток насосных станции от сорной растительности, что имеет место в практике эксплуатации канала Иртыш-Караганда, связана с большими затратами денежных средств и малоэффективна. Из этого следует, что для защиты канала от сорной растительности требуется разработать более эффектив-

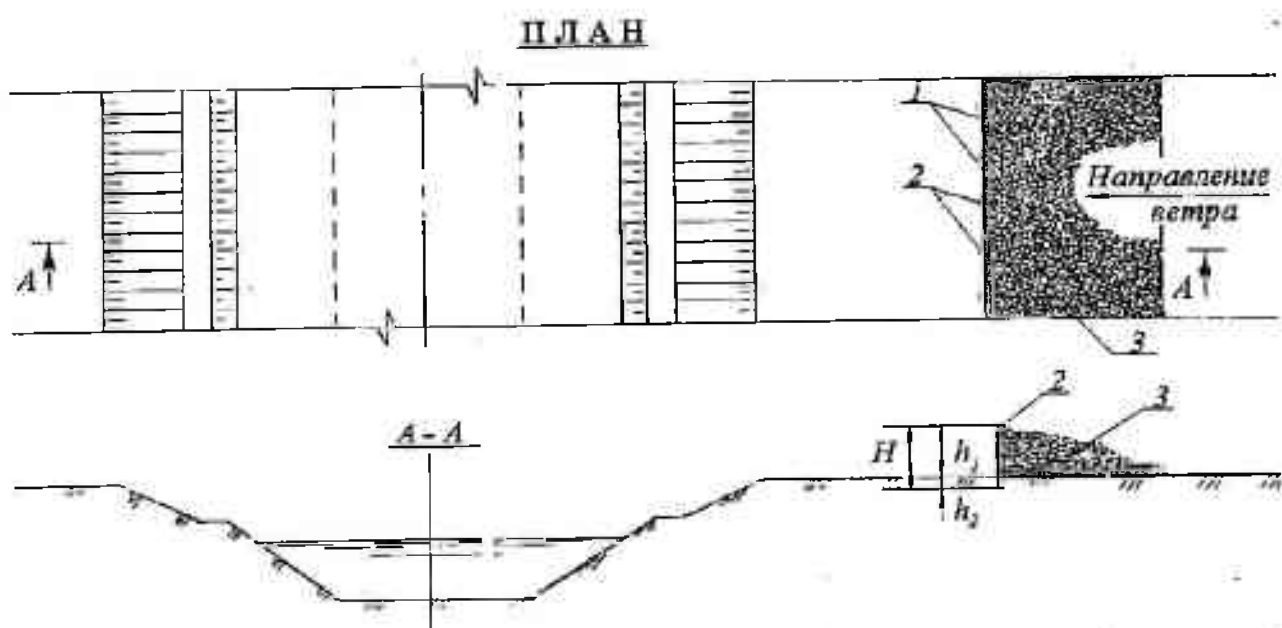


Рис. 2. План и поперечное сечение участка канала с устройством ограждений для задержания сорной растительности "перекати-поле". 1 – металлическая сетка; 2 – железобетонные опоры; 3 – скопление сорной растительности "перекати-поле" с наветренной стороны ограждения

ые мероприятия, направленные на предупреждение таких явлений на каналах, а не на ликвидацию их последствий.

Известные способы защиты каналов от песчаных и снежных заносов путем устройства лесополос, снегозадерживающих щитов и заборов, а также устройства ограждающих сеток из пластика и нейлона [2], в рассматриваемом случае неприемлемы по ряду причин. Во-первых, устройство лесополос очень затруднительно на бедных каменистых почвах в засушливых районах. Во-вторых, аккумуляционная способность как лесополос, так и деревянных щитов и синтетических сеток ограничена, а уничтожить огнем накопившуюся сорную растительность на месте скопления невозможно, так как ограждения не огнеустойчивы.

Для борьбы с такими негативными явлениями на каналах предлагается устройство специальных кураеулавливающих защитных ограждений с наветренной стороны на подходе к каналу в виде несгораемой металлической сетки 1 на железобетонных опорах 2, как показано на рис. 2. Пролет ограждений составляет 6 м, высота железобетонных опор $H = 6$ м, в том числе 5 м наземной части и 1 м в земле. Размер ячеек металлической сетки, изготовленной из стальной проволоки диаметром 4...5 мм, составляет 20 × 40 см.

Поступающая ветром сорная растительность «перекати-поле» будет накапливаться с наветренной стороны канала у ограждающей сетки. По мере заполнения до верха ограждения необходимо очищать от курая или сжигать ее на месте их скопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиргалиев Н.А. Закономерности формирования гидрохимического режима и качества воды искусственных водных объектов Северного и Центрального Казахстана: Автореферат дис. ... д-р. геогр. наук/ Инст. Геогр. АН РК. - Алматы, 1997. - 40 с.
2. Кавенников Н.Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений. - М.: Агропромиздат, 1989 - 272 с.

ЖЕЛМЕН АРАМШӨПТІҢ ӘКЕЛІНУІ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ КАНАЛДАР ЖҰМЫСЫНЫҢ СЕНІМДІЛІГІ МӘСЕЛЕСІНЕ

Техн.ғылымдарының канд. С.М. Қойбақов

Жыл бойы істейтін каналдардың арнасында «қаңбақ» арамшөбінің толуы және оның құрылыстар жұмысының сенімділігіне әсері қарастырылады. Каналдар арнасына жел әрекеті өнімдерінің толуына тосқауыл қою тәсілі ұсынылған.

УДК 658.52.011.56:628.33:63.12

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ДРОЖЖЕВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Канд. техн. наук Н.К. Калинин

Исследована система автоматического регулирования очистки сточных вод дрожжевого производства с целью определения показателей качества регулирования и выбора регулятора для обеспечения оптимального илового режима комплекса «аэротенк-отстойник».

Источником загрязнения стоков в дрожжевом производстве является бражка. Биологический окислительный коэффициент БПК₅ дрожжевой бражки варьирует в зависимости от режима выращивания дрожжей от 4000 до 17000 м³ Q₂/дм³.

Биологическая очистка стоков дрожжевого производства предусматривает использование аэротенков, очистка в них производится с помощью биологически активного ила с аэрацией воздухом иловой смеси. В системе автоматического регулирования илового режима комплекса «аэротенк-отстойник» необходимо, чтобы расход возвратного ила был равен расходу иловой смеси, поступающей в отстойник. В отстойнике устанавливается стабильный уровень ила, а его вынос с водой минимален. Излишек ила, образовавшийся за счет его прироста, удаляется из отстойника. Разработанная система регулирования обеспечивает заданный уровень ила в отстойнике путем регулирования выгружаемого ила.

Структурная схема системы автоматического регулирования процесса аэробно-биологической очистки стоков в дрожжевом производстве представлена на рис. 1. Структурная схема состоит из трех контуров регулирования:

- контур регулирования по расходу окисленного стока;
- контур регулирования по уровню стока в аэротенке;
- контур регулирования по расходу возвратного ила.

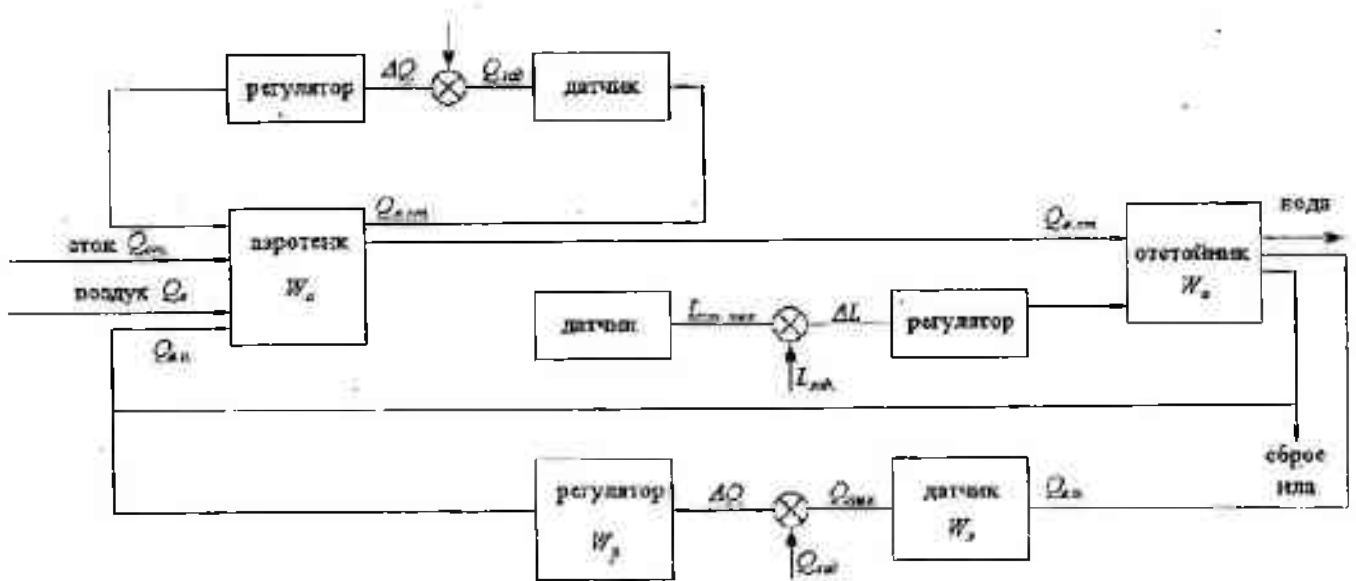


Рис. 1 Структурная схема системы автоматического регулирования процесса очистки сточных вод в дрожжевом производстве

В аэротенк поступают сточные воды, через аэратор подается воздух, необходимый для аэробного окисления стока. Продолжительность окисления стоков 24 ч, удельный расход воздуха на аэрацию 40 м^3 на один м^3 сточных вод. Из аэротенка окисленная жидкость поступает в отстойник. Сигнал от датчика, контролирующего уровень наполнения аэротенка возвратным илом $L_{ст.}$ поступает на регулятор, где происходит сравнение заданного $L_{зад.}$ и текущего $L_{тек.}$ значений уровня. Регулятор воздействует на регулирующий орган, который изменяет расход возвратного ила $Q_{в.и.}$ поступающего в аэротенк.

Сигнал от датчика, фиксирующего уровень активного ила в отстойнике, поступает на регулятор и, воздействуя на регулирующий орган, изменяет расход возвратного ила $Q_{в.и.}$

Расход окисленного стока $Q_{окс.}$ контролируется датчиком, регулятор воздействуя на регулирующий орган, управляет расходом окисленного стока.

Исследование системы автоматического регулирования процесса очистки сточных вод проведем по контуру «аэротенк-отстойник-датчик-регулятор».

Аэротенк. Составим дифференциальное уравнение объекта-аэротенка. Рассмотрим идеализированный процесс (Рис.2). В аэротенк поступает возвратный ил в количестве $Q_{в.и.}$ и выходит окисленная жидкость в количестве $Q_{окс.}$ ($\text{см}^3/\text{с}$).

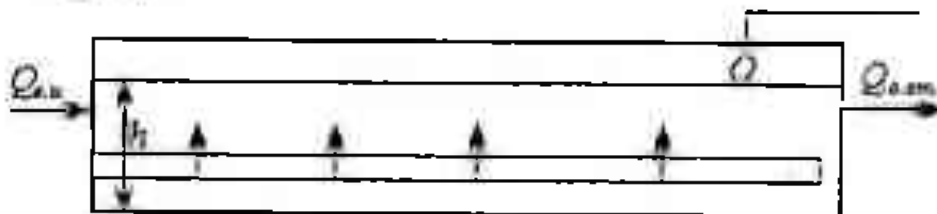


Рис.2 Идеализированный процесс очистки сточных вод

Введем обозначения:

Δh - отклонение уровня от заданного значения; F - площадь поперечного сечения аэротенка, см^2 .

Равновесие объекта характеризуется равенством притока возвратного ила и расходом окисленной жидкости:

$$Q_{в.и.} - Q_{окс.} = 0.$$

При изменении количества поступающего или расходуемого вещества уровень в аэротенке будет изменяться.

Если принять, что:

$$Q_1 = Q_{\text{вх}} + \Delta Q_1;$$

$$Q_2 = Q_{\text{вых}} + \Delta Q_2,$$

то получим:

$$Q_1 - Q_2 = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 = F \frac{d(\Delta h)}{dt}. \quad (1)$$

Вывод окисленной жидкости из азротенка зависит от высоты уровня вещества:

$$Q_2 = f(h)$$

Если Δh мало, то можно считать:

$$Q_2 = a\Delta h,$$

отсюда:

$$a = \Delta Q_2 / \Delta h,$$

где a – постоянный коэффициент.

Учитывая это, уравнение (1) можно записать:

$$\Delta Q_1 = F \frac{d(\Delta h)}{dt} + \Delta Q_2;$$

$$\Delta Q_1 = F \frac{d(\Delta h)}{dt} + a\Delta h$$

или

$$\frac{1}{2} \Delta Q_1 = \frac{F}{a} \frac{d(\Delta h)}{dt} + \Delta h. \quad (2)$$

Уравнение (2) является дифференциальным уравнением, связывающим входную величину объекта Δh во времени, т.е. уравнением динамики.

Запишем уравнение (2) в приращениях от состояния равновесия:

$$\Delta Q_1 = Q_0 X_{\text{вх}}, \quad \Delta h = h_0 X_{\text{вых}},$$

тогда

$$\frac{1}{a} Q_0 X_{\text{вх}} = \frac{F}{a} h_0 \frac{d(X_{\text{вых}})}{dt} + h_0 X_{\text{вых}}.$$

Разделим обе части уравнения на h_0 , получим:

$$\frac{Q_0}{a \cdot h_0} X_{\text{вх}} = \frac{F}{a} \frac{d(X_{\text{вых}})}{dt} + X_{\text{вых}}. \quad (3)$$

Обозначим $Q_0 / (a \cdot h_0) = K$ - коэффициент усиления, $F / a = T$ - постоянная времени азротенка, с получим:

$$KX_{\text{вх}} = TX'_{\text{вых}} + X_{\text{вых}}. \quad (4)$$

Запишем уравнение (4) в операторной форме:

$$TpX_{\text{вых}}(p) + X_{\text{вых}}(p) = KX_{\text{вх}}(p);$$

$$X_{\text{вх}}(p)(Tp + 1) = KX_{\text{вх}}(p),$$

передаточная функция аэротенка имеет вид:

$$W(p) = K / (Tp + 1).$$

Определим коэффициент усиления K_a и постоянную времени T_a аэротенка.

Для биологической очистки сточных вод применяются установки заводского изготовления типа КУ.

Техническая характеристика установки типа КУ-200 приведена ниже:

Производительность	200 м ³ /сут
Максимальный расход сточных вод	20 м ³ /ч
Высота	3 м
Объем	100 м ³
Масса	22 т
Мощность электрооборудования	26 кВт

Определяем:

$$K_a = Q_0 / (a \cdot h_0),$$

где: Q_0 – расход вещества ($Q_0 = 20$ м³/ч); h_0 – постоянно поддерживаемый уровень в аэротенке ($h_0 = 2,5$ м).

$$a = \frac{\Delta Q_0}{\Delta h} = \frac{2,5 \text{ м}^3 / \text{ч}}{0,25} = 10 \text{ м}^2 / \text{ч},$$

$$K_a = \frac{20}{10 \cdot 2,5} = 4.$$

Определяем:

$$T_a = F_a / a,$$

где: F_a – площадь поперечного сечения аэротенка, м².

$$F_a = \frac{V}{H} = \frac{100 \text{ м}^3}{3 \text{ м}} = 33,3 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$T_a = \frac{33,3}{10} = 3,3 \text{ (с)}.$$

Следовательно, передаточная функция аэротенка имеет вид:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1} = \frac{4}{3,3p + 1}$$

Отстойник. Передаточная функция отстойника имеет вид (расчет по аналогии с азротенком):

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1}$$

Техническая характеристика отстойника в комплекте установки КУ-200:

Максимальный расход	20 м ³ /ч
Высота	3 м
Объем	30 м ³

Определим:

$$K_o = Q_o / (a \cdot h_o),$$

где h_o – высота отстойной зоны отстойника ($h_o = 1,5$ м).

$$K_o = \frac{20}{10 \cdot 1,5} = 6,6 \approx 7.$$

Определяем:

$$T_o = F_o / a;$$

$$F_o = V / H = 30 / 3 = 10 \text{ (м}^3\text{)},$$

$$T_o = 10 / 10 = 1 \text{ (с)}.$$

Передаточная функция отстойника примет вид:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1} = \frac{7}{p + 1}$$

Датчик уровня может быть описан передаточной функцией:

$$W_y(p) = K_y,$$

где K_y – коэффициент усиления;

$$K_y = \Delta X_{\text{вых}} / X_{\text{вх}};$$

выходная величина – напряжение на датчике, $U_o = 24$ В; входная величина – уровень вещества в отстойнике, $h_o = 1,5$ м.

Для определения коэффициента усиления перейдем к безразмерным относительным параметрам:

$$X_{\text{вых}} = \Delta V_o / V_o = 5 / 24 = 0,208;$$

$$X_{\text{вх}} = \Delta h / h_o = 0,25 / 1,5 = 0,166;$$

передаточная функция датчика уровня
 $W_y(p) = 1,25$.

Тогда $K_y = 0,208 / 0,166 = 1,25$.

Регулятор прямого действия (П-регулятор) имеет передаточную функцию:

$$W_p(p) = K_p;$$

$$K_p = X_{\text{вых}} / X_{\text{вх}} = Q / h.$$

Относительные безразмерные выражения:

$$X_{\text{вых}} = \Delta Q_0 / Q_0 = 2,5 / 2,0 = 0,125;$$

$$X_{\text{вх}} = \Delta h / h_0 = 0,25 / 1,5 = 0,166;$$

$$K_p = 0,125 / 0,166 = 0,75.$$

Тогда передаточная функция примет вид:

$$W_p(p) = 0,75.$$

Следовательно система автоматического регулирования илового режима при очистке сточных вод дрожжевого производства по контуру «азротенк-отстойник-датчик-регулятор» состоит из последовательного включенных звеньев с передаточными функциями:

для азротенка

$$W_a(p) = \frac{K_a}{T_a p + 1} = \frac{4}{3,3p + 1};$$

для отстойника

$$W_o(p) = \frac{K_o}{T_o p + 1} = \frac{7}{p + 1};$$

для датчика уровня

$$W_y(p) = K_y = 1,25;$$

для регулятора

$$W_p(p) = K_p = 0,75;$$

Передаточная функция разомкнутой системы будет иметь вид:

$$\begin{aligned} W(p) &= W_a(p) \cdot W_o(p) \cdot W_y(p) \cdot W_p(p) = \\ &= \frac{K_a}{T_a p + 1} \cdot \frac{K_o}{T_o p + 1} \cdot K_y \cdot K_p = \frac{K}{(T_a p + 1)(T_o p + 1)} = \\ &= \frac{26,25}{(3,3p + 1)(p + 1)}. \end{aligned}$$

Передаточная функция системы с учетом запаздывания:

$$W(p) = \frac{26,25}{(3,3p + 1)(p + 1)} e^{-\tau p} = \frac{26,25}{(3,3p + 1)(p + 1)} e^{-0,7p},$$

где: τ - время запаздывания.

Для определения τ построим кривую разгона азротенка.

Запишем передаточную функцию азротенка:

$$W_a(p) = \frac{K_a}{T_a p + 1} = \frac{4}{3,3p + 1}.$$

Характеристическое уравнение $3,3p + 1 = 0$, имеет один корень

$$p = -1/3,3 = -0,3.$$

Свободная составляющая:

$$y(t)_{св} = Ae^{-0,3t}.$$

Вынужденная составляющая определяется правой частью дифференциального уравнения и выражается в виде постоянной величины:

$$y(t)_{вын} = K_a \cdot X(t) = 4 \cdot X(t),$$

общее решение дифференциального уравнения (4) является суммой свободной и вынужденной составляющих:

$$y(t) = y(t)_{св} + y(t)_{вын} = Ae^{-0,3t} + 4X(t).$$

Определим постоянную интегрирования A при $t = 0$ и $X(0) = 0$:

$$A = -4X(t).$$

В результате получим выражение:

$$y(t) = -4X(t)e^{-0,3t} + 4X(t) = 4X(t)(1 - e^{-0,3t}). \quad (5)$$

Уравнение (5) является аналитическим выражением для получения кривой разгона азротенка:

$$X(t) = Q(t) = 20 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0055 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$y(t) = 0,022(1 - e^{-0,3t}).$$

Задаваясь конкретными значениями времени $t = 0 \dots \infty$, с получены значения $y(t)$, по которым построена кривая разгона (рис.3).

По кривой разгона определены динамические параметры объекта:

Запаздывание	$\tau = 0,7 \text{ с}$
Постоянная времени	$T = 3,3 \text{ с}$
Коэффициент передачи	$R_{об} = 0,023 \text{ м}$
Время регулирования	$t_p = 12 \text{ с}$

По динамическим параметрам объекта производится выбор регулятора. Показатели качества регулирования характеризуются отношением запаздывания к постоянной времени:

$$\tau / T = 0,7 / 3,3 = 0,21.$$

Выбираем регулятор непрерывного действия.

К необходимым показателям качества регулирования относятся:

- максимальное динамическое отклонение X_1 : $X_1 = 0,008 \text{ м}^3/\text{с}$;
- допустимое остаточное отклонение δ , которое можно определить по отношению τ/T [2]: $\delta = \delta' \cdot R_{оп} \cdot Y_0 = 0,4 \cdot 0,022 \cdot 0,7 = 0,006 \text{ м}^3/\text{с}$,
где: $\delta' = 0,4$ для $\tau/T = 0,21$; Y_0 - максимально возможное возмущение нагрузки (70%).

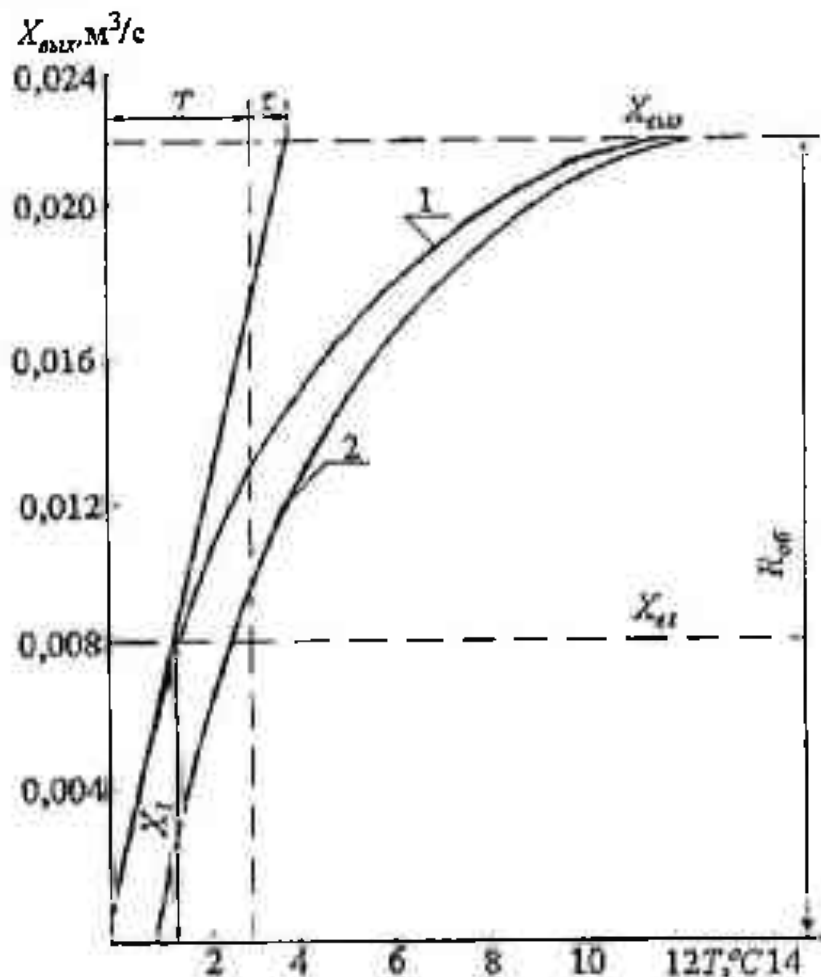


Рис. 3. Кривая разгона аэратора. 1 - без учета запаздывания; 2 - с учетом запаздывания

Таким образом, полученная величина остаточного отклонения меньше заданной ($0,008 \text{ м}^3/\text{с}$) и, следовательно, выбранный П-регулятор удовлетворяет всем показателям, определяющим заданное качество регулирования. Значение настроечного параметра регулятора $K_p = 0,05$, постоянная времени объекта $4,3 \text{ с}$.

Использование П-регулятора с расчетными настроечными параметрами в системе автоматического регулирования процесса очистки сточных вод при производстве дрожжей обеспечит поддержание оптимального илового режима в комплексе «аэротенк-отстойник».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генкин Л.С. Основы автоматического регулирования технологических процессов пищевых производств. – М., 1967.
2. Ронканен В.В. Проектирование автоматизации обогатительных фабрик. – М., 1966.

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

АШЫТҚЫ ӨНДІРІСІНДЕГІ АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАЗАРТУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ

Техн.ғылымдарының канд. Н.К. Калинин

Реттеу сапасының көрсеткіштерін анықтау және «азротенк-тұндырғы» кешенінің оңтайлы тұнба режимін қамтамасыз ету үшін реттеушіні таңдау мақсатында ашытқы өндірісіндегі ағынды суларды тазарту процесін автоматты реттеу жүйесі зерттелген.

УДК 658.522:356.3:663.14

**АВТОМАТИЗАЦИЯ АЭРОБНО-БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД ДРОЖЖЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Канд.т ехн. наук Н.К. Калининчук
Канд.т ехн. наук М.Ш. Джунисбеков

Разработана система управления процессом аэробно-биологической очистки, которая предусматривает регулирование шлового режима по заданному уровню шла в отстойнике и регулирование уровня сточной воды в азротенке по заданному расходу активного шла.

Сточные воды дрожжевого отделения спиртзавода состоят из отработанного мелассного сусла и промывных вод. Со сточными водами удаляется значительное количество органических и неорганических веществ. Степень загрязненности сточных вод органическими веществами характеризуется количеством кислорода, необходимого для окисления этих веществ. Степень загрязненности выражается показателем БПК, т.е. количеством кислорода в миллилитрах, потребляемого микроорганизмами для биологического окисления органических веществ на 1 дм³ сточной воды за пять суток.

Органические отходы с высоким биохимическим окислительным коэффициентом приводят к истощению запаса кислорода источников, в которые они сбрасываются. Известно, что в 1 дм³ речной воды содержится 8...10 мг кислорода. На окисление органических веществ, содержащихся в общем производственном стоке, необходимо около 1800 мг кислорода. Следовательно, в водоемах со сточными водами количество кислорода резко сокращается, что наносит значительный ущерб флоре и фауне водоемов.

Применяются различные способы очистки сточных производственных вод: использование сточных вод в сельском хозяйстве, химический метод, биохимическая и аэробно-биологическая очистка.

Сточные воды, выходящие из дрожжевого цеха спиртзавода, после бродильных чанов, сепараторов и фильтр-прессов характеризуются БПК около 1400 мг/дм³.

При биохимической очистке сточных вод в азротенках продолжительностью аэрации 24 часа и концентрации шла 4,1 г/дм³ очищенная вода характеризуется показателем рН 8,2, БПК 25...60 мг/дм³, содержанием нитратов 28...40 мг/дм³.

Биохимическая очистка состоит в окислении органических веществ растворенным в стоках кислородом в присутствии фермента, который продуцируется бактериями активного ила. Для обеспечения нормального технологического режима в аэротенк подаются стоки и рециркулирующий ил, содержащий бактерии. Для их перемешивания и насыщения полученной иловой смеси кислородом в нижнюю часть аэротенка через секции подается воздух. Сточные воды вместе с илом аэрируются, а затем поступают в отстойник для отделения активного ила из сточных вод.

Процесс аэробно-биологической очистки сточных вод в аэротенках довольно длителен (6...12 часов), активный ил обладает способностью к саморегулированию (адаптацией к новым условиям и веществам, концентрациям, температуре и т.д.). Поэтому аэротенки нуждаются в постоянном контроле за целым рядом параметров и в создании управления системы очистки.

Как объект автоматического регулирования процесс биологической очистки сточных вод в аэротенках является сложным и малоизученным.

Основные задачи системы управления процессом биологической очистки сточных вод комплекса «аэротенк-отстойник» следующие:

1. Управление распределением расхода поступающих сточных вод между параллельно работающими аэротенками.
2. Управление расходом возвратного ила с целью поддержания постоянной концентрации активного ила в аэротенке.
3. Управление подачей воздуха для поддержания заданной концентрации активного ила в аэротенке.
4. Управление расходом выводимого из системы активного ила.
5. Управление расходом ила, выпускаемого из отстойника, чтобы поддерживать в нем оптимальный уровень ила и изменять его в зависимости от концентрации и расхода иловой смеси.

На рисунке показана разработанная система управления процессом очистки сточных вод при производстве дрожжей.

Управление распределением расхода поступающих сточных вод между параллельно работающими аэротенками производится за счет регулирования уровня стока. Уровень воды в аэротенках контролируется индикаторами уровня, состоящими из электронных блоков (19б, 22б), дистанционно-показывающих приборов (19б, 22в) и емкостных датчиков ДЕ-4 (19а, 22а). При заполнении до заданного уровня сточной водой первого аэротенка при закрытом клапане на втором аэротенке подается сигнал на мембранно-

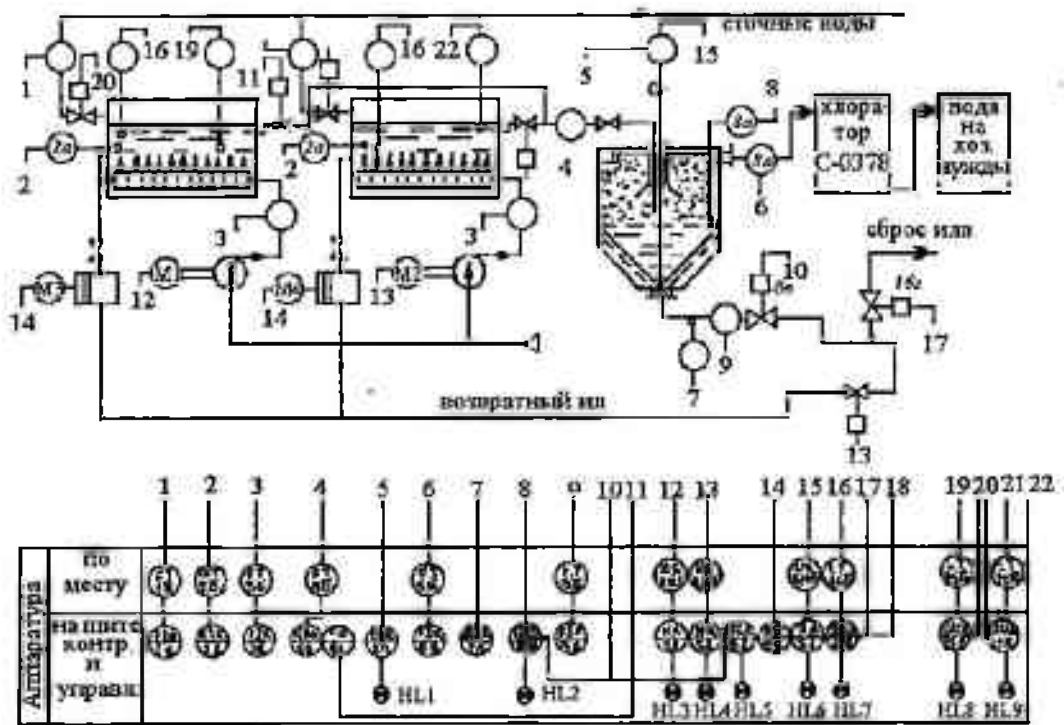


Рис. Функциональная схема процесса очистки сточных вод дрожжевого производства

исполнительные устройства, закрывается клапан подачи стока в первый аэротенк и открывается клапан подачи стока во второй аэротенк.

Контроль концентрации растворенного кислорода проводится с помощью кислородомера (26). Датчик анализатора растворенного кислорода (2а) устанавливается в иловой смеси аэротенка у борта, где нет аэраторов. Воздух в аэротенк подается через аэратор с помощью центробежного насоса.

После аэрации иловая смесь (окисленный сток) поступает в отстойник. Для гравитационного отделения ила из иловой смеси используется радиальный отстойник КУ-200. Обобщенным параметром, характеризующим работу отстойника, служит количество осадочного ила.

Система автоматического регулирования илового режима в радиальном отстойнике по заданному уровню ила предусматривает датчик (8а) и измерительный прибор сигнализатора уровня ила (8б). Сигнал от датчика уровня, подвешенного на ферме отстойника, поступает на импульсную систему стабилизации уровня ила и управляет работой регулирующего клапана (8в). Одновременно включается двигатель МЗ плунжерного насоса. Происходит выгрузка активного ила из зоны оседания отстойника и подача ила в аэротенк или в линию сброса ила.

При загрузке возвратным илом аэротенка наблюдается подъем уровня сточной воды, который контролируется индикатором уровня. При достижении заданного уровня подается сигнал и с помощью исполнительного устройства закрывается клапан на линии возвратного ила и открывается регулирующийся клапан (16г) на линии сброса ила.

Ответвленная вода после отстойника поступает в хлоратор и в емкость воды для хозяйственных нужд.

На щит контроля и управления выводятся сигнальные лампы, обеспечивающие световую сигнализацию при контроле за мощностью электродвигателя мешалки отстойника (НЛ1), за уровнем ила в отстойнике (НЛ2), за уровнем стока в аэротенке (НЛ8, НЛ9), за управлением электродвигателями (НЛ3-НЛ6).

Таким образом, предлагаемая система управления комплексом «аэротенк-отстойник» обеспечивает оптимальные параметры аэробно-биологической очистки сточных вод при производстве дрожжей и предусматривает:

1. Регулирование илового режима по заданному уровню ила в отстойнике.
2. Регулирование уровня сточной воды в аэротенке по заданному расходу активного ила.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация технологических процессов пищевых производств/ Под ред. Е.Б. Карпина. М., 1985.
2. Смирнов Д.Н. Автоматическое регулирование процессов очистки природных и сточных вод. - М., 1985.
3. Технология пищевых производств./ Под ред. Л.П. Ковальской. М., 1999.

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

АШЫТҚЫ ӨНДІРІСІНІҢ АҒЫНДЫ СУЛАРЫН АЭРОБТЫ- БИОЛОГИЯЛЫҚ ТАЗАРТУДЫ АВТОМАТТАНДЫРУ

Техн.ғылымдарының канд. Н.К. Калинин

Техн.ғылымдарының канд. М.Ш. Жүнісбеков

Тұндырмадағы тұнба режимін берілген деңгей бойынша реттеуді және аэротенктегі ағынды су деңгейін белсенді тұнбаның берілген шығыны бойынша реттеуді қарастыратын аэробты-биологиялық тазарту процесін басқару жүйесі жасалған.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСИ, СДАВАЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ ЖУРНАЛА "ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ"

В комплект рукописи, присылаемой автором, должны входить: основной текст статьи (не превышающий 12,5 страниц машинописного текста, включая таблицы, рисунки и список литературы), аннотация на русском и казахском языках, не более 10 строк, дающая ясное представление о содержании статьи; название статьи; Ф.И.О. авторов на английском языке; список литературы в алфавитном порядке авторов на русском и отдельно иностранном языке (составляется согласно ГОСТу 7.1-84). Число рисунков не более трех на одну статью. Перед заголовком статьи следует указать расширенный индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК). Помимо машинописного варианта статьи обязательно предоставляется ее дубликат, записанный на дискете.

Оформление рукописи:

Весь текст рукописи, включая таблицы, отпечатывается на ПК на одной стороне стандартного листа плотной бумаги белого цвета через 1,2 интервала. Параметры поля страницы: верхнее 20 мм, нижнее 75 мм, левое 75 мм, правое 10 мм. Красная строка 12,5 мм, режим набора Microsoft Word, шрифт Times New Roman (стиль нормальный), размер шрифта 11. Заголовок статьи из прописных букв, шрифт полужирный. Реферат набирается курсивом, отступы по 5 мм слева и справа, помещается перед основным текстом статьи, после заголовка и списка авторов (представленного в столбик с указанием ученой степени) (см. пример).

НАУЧНЫЕ СТАТЬИ

Гидрометеорология и экология
№ 3-4 2000

УДК 551.461.25 (465.75)

О ВЛИЯНИИ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА УРОВЕНЬ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Канд. геогр. наук В.В. Голубцов

Канд. техн. наук В.И. Ли

Канд. геогр. наук В.П. Попова

Рисунки готовятся с соблюдением ГОСТа в режиме Paint (Paintbrush), графики, диаграммы, гистограммы - в режиме Microsoft Excel, и вставляются в текст. Подпись рисунка помещается под ним и набирается курсивом, начинать от левого края (см. пример). Целые цифры от дробной

части числа отделяются не точкой, а запятой. Расшифровка обозначений в строку после подписи. На поле рисунка надписи не допускаются, кроме индексов или цифр обозначений. Размер цифр и букв на рисунке такой же, как и в тексте, индексов - не меньше 1,5 мм.

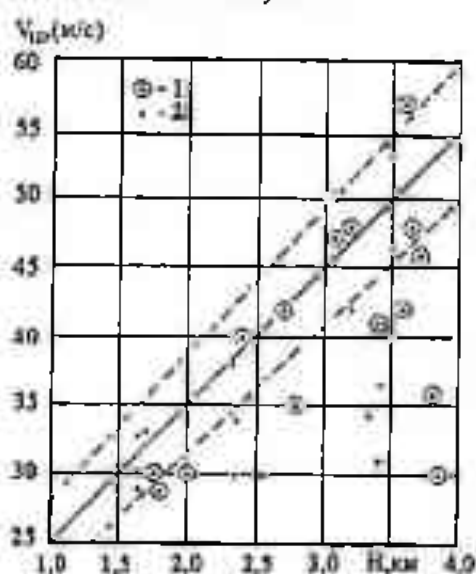


Рис.2. График высотной зависимости максимальных скоростей ветра, вероятных 1 раз в 10 лет для передовых хребтов Тянь-Шаня с высотами гребневой линии 3-4 км:

1 – основной экспедиционный пункт, радиорелейная станция, автоматическая радиометеорологическая станция; 2 – пункты микросъемки

Таблицы оформляются без дополнительной разграфки поля таблицы, разграфляется только "шапка" и внешний контур таблицы. Номер таблицы и смысловое название - над таблицей, примечание - под ней (с соблюдением ГОСТа) (см. пример).

Таблица 1

Матрица коэффициентов парной корреляции

	x	$l_{ст}$	λ	φ	ΔH
x	1	-0,62	0,50	-0,48	-0,48
$l_{ст}$		1	-0,27	0,24	0,32
ΔH					1

Примечание. Все показатели нормированы.

Единицы физических величин приводятся в Международной системе СИ (ГОСТ 8.417-81), либо дается перевод приведенных единиц в систему СИ.

Названия организаций, учреждений, географические названия и т.п. даются в последней редакции. К историческим названиям в скобках

приводятся современные.

Математические, химические обозначения и формулы набирать в режиме Microsoft Equation. В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные ГОСТом. Номера формул указываются у правого края страницы в круглых скобках. Ссылки в тексте на порядковый номер формулы также даются в круглых скобках. Рекомендуется перевод формул на однострочный набор, если это не затруднит их восприятие читателем (см. пример).

$$\Delta z = W / \omega(z) + W_g / \omega(z) + P - W_{\text{кв}} / \omega(z) - E. \quad (1)$$

В тексте обязательно приводится расшифровка всех параметров и аббревиатур. Все сокращения выполняются в соответствии с ГОСТом и словарем сокращений.

РУКОПИСИ, ОФОРМЛЕННЫЕ НЕ В СООТВЕТСТВИИ С ТЕХНИЧЕСКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К ПУБЛИКАЦИИ НЕ ПРИНИМАЮТСЯ И АВТОРАМ НЕ ВОЗВРАЩАЮТСЯ.

На отдельном листе в редакцию высылаются сведения об авторе (авторах) с указанием фамилии, имени, отчества (полностью), домашнего и служебного адресов и телефонов, точного названия учреждения, в котором была выполнена работа, ученой степени и ученого звания автора.

Редакция сохраняет за собой право отклонять рукописи и делать необходимые редакционные исправления, дополнения и сокращения в принятых рукописях. Статья может быть возвращена автору на доработку. В отдельных случаях по просьбе редакции предоставляются рецензии на статью.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
480072, Казахстан, г. Алматы,
проспект Сейфуллина, 597,
КазНИИМОСК.

