

## Источники и литература

1. Агеенко В. Обзор растительности Крыма с топографической и флористической точки зрения.– С.-Петербург, 1897. – 94с.
2. Высотская Т.Н. Неаполь - столица государства поздних скифов. – К.: Наукова думка, 1979. – 206 с.
3. Гайдукевич В.Ф. Боспорское царство.– М.: Наука, 1966. – 223 с.
4. Динамика народного хозяйства Украины 1921–25 гг. – Харьков, 1926. – 145 с.
5. Кириков С.В. Человек и природа степной зоны.– М.: Наука, 1983. – 175 с.
6. Клепинин Н.Н. Крым: сельское хозяйство. – Симферополь: Крымгосиздат, 1929. – 14 с.
7. Ключин А., Щепинский А. Эчки-Даг. – Симферополь: Таврия, 1990. – 126 с.
8. Подгородецкий П.Д. Крым. Природа. – Симферополь: Таврия, 1988. – 192 с.
9. Россия. Полное географическое описание нашего Отечества. – Т.14. Новороссия и Крым / Под ред. В.П. Семенова-Тянь-Шанского. – СПб., 1910. – 983 с.
10. Статистико-экономический атлас Крыма. – Симферополь, 1922. – 49 с.
11. Терехов В. Там за Демерджи. – Симферополь: Таврия, 1978. – 85 с.
12. Традиционный опыт природопользования в России/ Под ред. Я.В. Данилова. – М.: Наука, 1998. – 524с.
13. Чорний С.Г. Оцінка допустимої норми ерозії для ґрунтів степу України // Український географічний журнал.– 1999. – № 4. – С. 22–27.
14. Швевс Г.И. Теоретические основы эрозиоведения. – К.: Вища школа, 1981. – 224 с.
15. Энциклопедический словарь. Т.ХХХІІІ / Издатели: Ф.А. Брокгаузъ, И.А. Эфронъ. – Спб.: Тип. акц.общ. Брокгаузъ-Эфронъ, 1901. – 560 с.
16. Smith, R.M., Stamey, W.L. Determining the range of tolerance erosion // Soil Science. – 1965. –V.100. –N6. –P.414–424.

**Ефимов В.А., Ивус Г.П, Грушевский О.Н.**

**УЧЁТ ВЛАГООБОРОТА В МОДЕЛЯХ КЛИМАТА АДЕМА И БЛИНОВОЙ Е.Н.**

Атмосферный влагооборот является наиболее существенной составляющей климата или конкретной климатической эпохи. Известны первые модели климата Дж. Адема и Е.Н. Блиновой в расчётах, по которым влагооборот не учитывался вообще. Поэтому целью статьи является уточнение результатов моделирования климатических полей термобарических величин и, кроме того, получение представления о влагообороте конкретных климатических эпох. В данной работе с помощью математического аппарата физической кинетики в упомянутые модели введены функции распределения облачности и, тем самым, скорректированы результаты расчёта термобарических полей климата. В планетарном атмосферном процессе отдельное облако, с целью применения аппарата физической кинетики, уподоблено отдельной молекуле, которая в 6- мерном фазовом пространстве имеет геометрические координаты своего положения и координаты скоростей (для молекул это скорости их теплового движения, для облаков – скорости вовлечения воздушных масс в их структуру). Таким образом, упомянутые модели климата дополнены системой уравнений физической кинетики относительно функций распределения облаков разного генезиса.

Основы теории моделирования климата и влагооборота отдельных климатических эпох

Основное уравнение для диагноза климата в [1] представлено в виде:

$$\rho^* \frac{d}{dt} (c_v T^* + W) = \nabla \rho^* K \nabla (c_v T^* + W) + E_1 + E_2 + E_3;$$

где  $\rho^*$  - плотность воздуха на уровне середины слоя нижнего яруса облаков;  $c_v$  - удельная теп-

лоемкость воздуха при постоянном объеме;  $c_v T^*$  - внутренняя энергия единицы массы;  $W$  – скрытая энергия парообразования;  $K$  - коэффициент макротурбулентного перемешивания;

$\nabla \rho^* K \nabla (c_v T^* + W)$  - горизонтальный перенос тепла посредством турбулентной диффузии;

$E_1$  - вклад в изменение энергии притока тепла за счет радиации;  $E_2$  - влияние теплопередачи от зем-

ной поверхности;  $E_3$  - скорость изменения энергии за счет реализации скрытой теплоты.

Модель Дж. Адема наиболее приспособлена для описания климата эпохи с зональной циркуляцией. В [2] эта форма циркуляции обозначена  $W$  формой, характерной для 1900 – 1928 гг.

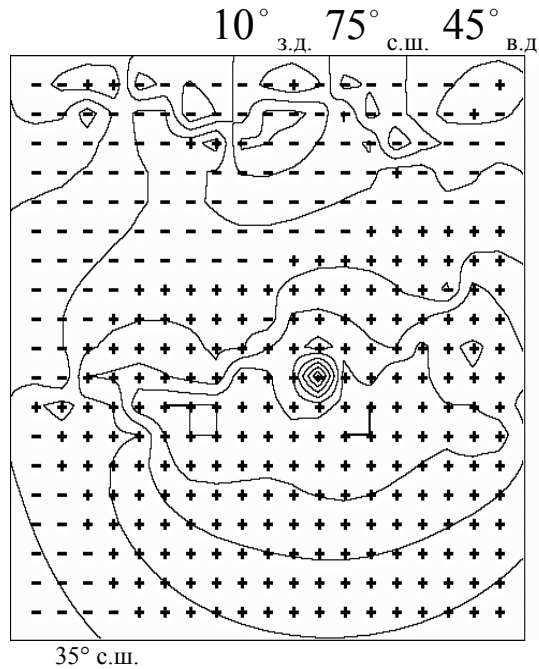
В отличие от численных экспериментов, приведенных в [1], основное внимание в оптической толщине атмосферного слоя уделяем концентрации не углекислого газа, а водяных паров. Поэтому радиационный

климат становится непосредственно связанным с влагооборотом.

Модель центров действия Е.Н. Блиновой (фактически равнозначная модели климата) более пригодна для описания климата с меридиональными формами циркуляции согласно их определения, приведенного в [2]. Она [3] базируется на системе уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_\theta}{\partial t} + \frac{v_\theta}{a} \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + \frac{v_\varphi}{a \sin \theta} \frac{\partial v_\theta}{\partial \varphi} - \frac{v_\varphi^2 \operatorname{ctg} \theta}{a} - 2\omega \cos \theta v_\varphi &= -\frac{1}{a} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \\ \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + \frac{v_\theta}{a} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \theta} + \frac{v_\varphi}{a \sin \theta} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} - \frac{v_\theta v_\varphi \operatorname{ctg} \theta}{a} + 2\omega \cos \theta v_\theta &= -\frac{1}{a \sin \theta} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} \\ \frac{\partial(\sin \theta v_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} &= 0 \end{aligned}$$

где  $v_\theta, v_\varphi$  – компоненты скорости в сферической системе координат;  $\theta$  – дополнение широты;  $\varphi$  – долгота;  $a$  – радиус Земли;  $\omega$  – угловая скорость вращения Земли.



**Рис. 1.** Функция тока для первой циркуляционной эпохи зональной циркуляции (W). Положительные значения функции тока, отмеченные знаком +, расположены слева от направления движения. Скорость ветрового переноса определяется по градиенту к функции тока.

Результат получен в виде ряда:

$$H' \Big|_{t=0} = \sum_{n=m}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} (A_n^m \cos m\varphi + A_n'^m \sin m\varphi) P_n^m(\cos \theta)$$

где  $P_n^m(\cos \theta)$  – присоединенные полиномы Лежандра;  $A_n^m; A_n'^m$  – энергетические спектральные моды;  $(n, m)$  – волновой вектор.

Для расчёта распределения облаков в системе влагооборота, соответствующей циркуляции атмосферы, рассчитанной по модели Дж. Адема (рис.1), а также модели Е.Н. Блиновой, применим методы физической кинетики. С этой целью введём понятие облачного объекта по аналогии с отдельной молекулой, которая помимо координат пространства обладает еще и вектором скорости в её тепловом движении. В этом приближении облачный объект также имеет координаты в пространстве и присущие ему скорости вовлечения (причём слоистые подинверсионные облака тоже имеют скорости вовлечения воздуха в подинверсионный слой, преобразующиеся, согласно [5], в струйные подинверсионные течения). Назовём  $\mathcal{Y}$  – фа-

зовым пространством 6 – мерное пространство, в котором состояние объекта (в данном случае отдельного облака) определяется тремя его пространственными координатами и тремя составляющими скоростей во-

влечения. В  $\mathcal{Y}$  - фазовом пространстве система N облаков изображается N точками с координатами:

$$\left( \vec{x}, \vec{\xi}_i \right), \text{ где } i=1,2,\dots,N; \vec{\xi}_i - \text{ скорости вовлечения. Введём также 6 N-мерное фазовое } \Gamma - \text{ пространство,}$$

координатами которого, в отличие от  $\mathcal{Y}$  - фазового пространства, являются пространственные координаты и составляющие скоростей всех N облаков, входящих в единый облачный массив. В таком пространстве вся система N облаков в облачном массиве изображается одной точкой.

Вместо того, чтобы говорить об истинном состоянии системы многих объектов, будем говорить о вероятностном нахождении системы в том или ином состоянии. Пусть

$$F_N(t, \vec{r}_N, \vec{v}_N) d\vec{r}_N d\vec{v}_N = F_N(t, z_1, \dots, z_N) dz_1 \dots dz_N = F_N(t, x_1, \dots, x_N, \xi_1, \dots, \xi_N) \times dx_1, \dots, dx_N d\xi_1, \dots, d\xi_N;$$

$$\left( \begin{array}{l} dx = dx_1 dx_{2,3}; d\xi = d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3; z \equiv (\vec{x}, \vec{\xi}), \\ dz = d\vec{x} d\vec{\xi}; \vec{r}_N \equiv (x_1, \dots, x_N); \vec{v}_N \equiv (\xi_1, \dots, \xi_N) \end{array} \right)$$

- вероятность нахождения системы в состоянии со значениями  $\vec{r}_N, \vec{v}_N$  в интервале  $d\vec{r}_N, d\vec{v}_N$  около точки  $(\vec{r}_N, \vec{v}_N) dU$  в  $\Gamma$  – пространстве,  $F_N$  - функция плотности вероятности.

Для расчёта распределения облачности, согласно [3-5], в климатическом распределении основных метеорологических величин применяем систему уравнений физической кинетики, для которой отдельное облако в планетарном процессе подобно молекулярной субстанции в физической кинетике, т.е. обладает не только координатами своего положения в пространстве, но и координатами в виде компонент вектора скорости. И окончательно для s – частичной функции распределения имеем систему уравнений ВВГКУ (Боголюбов – Борн – Грин – Кирвуд – Ивон):

$$\frac{\partial F_s}{\partial t} + \sum_{i=1}^s |\vec{V}_i| \frac{\partial F_s}{\partial x_i} + \sum_{i,j} \frac{\vec{X}_{ij}}{m} \frac{\partial F_s}{\partial V_i} = - \sum_{i=1}^s (N-s) \frac{\partial}{\partial V_i} \int \frac{\vec{X}_{i,s+1}}{m} F_{s+1} dz_{s+1}$$

( $s=1, 2, \dots$ ), где S нумерует классы облачных систем (конвективные кучевые, слоистые подинверсионные, слоисто-кучевые и т.д.).  $\vec{X}_{ij}; \vec{X}_{i,s+1}$  соответствуют силам, вызывающим токи вовлечения.

N – количество классов облачных систем;  $V_i$  - координаты скоростей вовлечения в  $\mathcal{Y}$  фазовом про-

странстве;  $x_i$  - пространственные координаты. Каждое уравнение из системы S уравнений относительно функции распределения облачности одного класса имеет связь с уравнением относительно функции распределения облачности соседнего класса. Причём оба эти класса облачности обычно ранее имели общий генезис. Например, при вхождении конвективного облака в подинверсионное пространство, конвективные облака трансформируются в слоистые.

Все функции  $F_S \geq 0$  и нормированы таким образом, что

$$\int F_N dz_1, \dots, dz_N = 1; \int F_s dz_1, \dots, dz_s = 1;$$

Связь между функциями распределения

разного порядка не взаимно однозначна. Т.е. пусть в момент t=0 задана функция  $F_S$  при

$1 \leq s \leq N$ . Т.к.  $F_S$  является интегралом от  $F_N$ , то существует целый класс функций  $|F_N(0)|$ , соответствующих одной и той же функции  $F_S(0)$ . В произвольный момент времени  $t > 0$  семейство начальных состояний системы  $|F_N(0)|$ , соответствует семейству состояний  $|F_N(t)|$ , каждому из которых соответствует своя функция  $|F_S(t)|$ . Т.е. описание движения на уровне  $s < N$  неоднозначно. Для однозначности необходимо ввести ограничение, или ограничить класс явлений. Т.е.  $F_N(t, x_1, \dots, x_N, \xi_1, \dots, \xi_N) = F_1(t, x_1, \xi_1) F_1(t, x_2, \xi_2) \dots F_1(t, x_N, \xi_N)$ . Тогда начальной функции  $F_1(0)$  соответствует единственная функция  $F_N(0)$  и описание движения с помощью функции  $F_1$  однозначно. Это условие выполняется, если вероятности нахождения каждого из объектов (облаков) в том или ином состоянии независимы. Однако, это условие слабо применимо к реальной атмосфере, т.к. слоистые облака в основном являются следствием конвективных облаков в виде следствия оторванной циркуляцией циклона инверсии от конвекции.

Примем движение ансамбля объектов за движение газа с плотностью  $F_N$ . Считаем также, что объекты, составляющие ансамбль не возникают и не исчезают, т.е. нет источников и стоков. Следовательно, выполняется уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial F_N}{\partial t} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial z_i} (\dot{z}_i F_N) = 0, \text{ где}$$

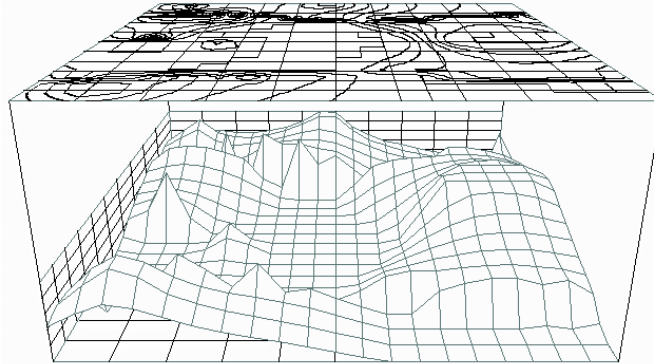
$$\frac{\partial (\dot{z}_i F_N)}{\partial z_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \frac{dx_i}{dt} F_N \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_i} \left( \frac{d\xi_i}{dt} F_N \right)$$

Неразрывность облачного ансамбля в случае циклона допустима в первом приближении. Т.к.

$$\dot{x}_i = \xi_i; \quad m \dot{\xi}_i = X_i(t, z), \text{ то}$$

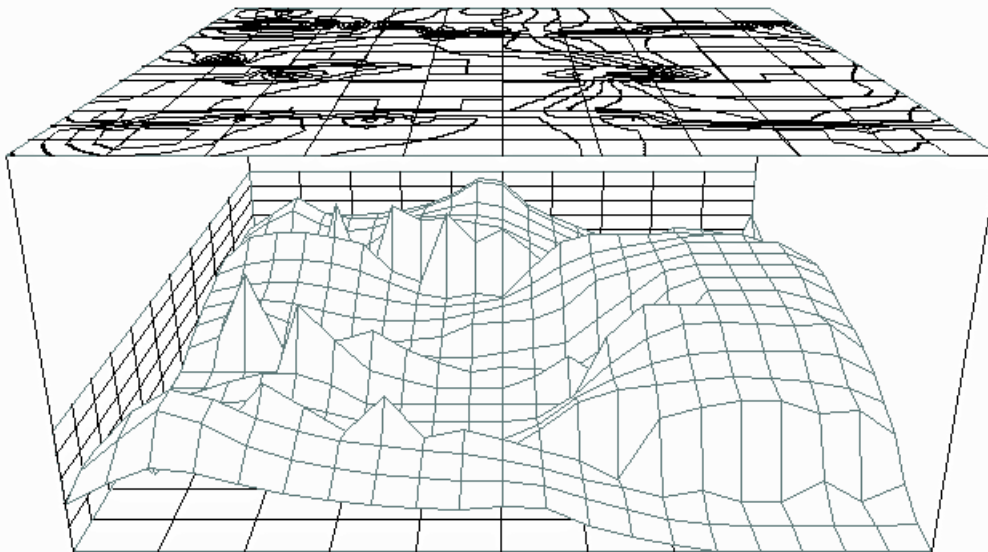
$$\frac{\partial F_N}{\partial t} + \sum_{i=1}^N \xi_i \frac{\partial F_N}{\partial x_i} + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N \frac{\partial}{\partial \xi_i} (X_i F_N) = 0$$

Это уравнение Лиувилля, которое является контрольным при решении системы ВВГКУ.



**Рис. 2.** Функция распределения облачности по координатам области решения и скоростям вовлечения для эксперимента, приведенного на рис. 1. (начальная стадия установления режима влагооборота по функции тока, приведенной на рис. 1). Координатная привязка схемы совпадает с рис. 1. Скорости вовлечения возрастают в конвективных облачных системах, образующихся над континентами.

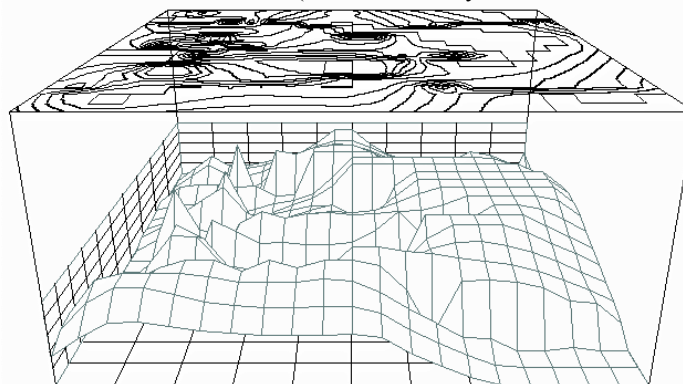
В континентальной части изображенной области решения на рис.2 конвекция приобретает достаточное развитие и пик распределения облачности приходится уже на гораздо больший по модулю интервал скоростей вовлечения. В полярных широтах пики распределения приходится на зону арктического фронтального раздела. На рис.3 северная ветвь полярного фронта получает более интенсивное развитие и одновременно проявляется фронтальная система в предгорьях Карпат. Арктический фронт и южная ветвь полярного фронта сохраняются в прежней интенсивности. Минимум функции распределения по центру схемы в умеренных широтах постепенно имеет тенденцию к заполнению за счет объединения обеих ветвей северной бифуркации полярного фронта, которое хорошо прослеживается на рис. 3.



**Рис. 3** Функция распределения облачности по скоростям вовлечения для эксперимента, приведенного на рис.1 (стадия установления режима орографического блокирования зонального переноса горными хребтами Альп, Родоп и Карпат).

На рис.3 выявляется также тенденция к объединению обеих ветвей полярного фронта. Интенсивность орографического блокирования на рис. 6 явно уменьшается и оно локализуется в основном в предгорьях Карпат. Также прослеживается тенденция к дальнейшему влагопереносу на территорию Восточной Европы вплоть до проявления новых систем блокирования. В целом, на рис. 3 прослеживается более сглаженная картина распределения облачности. На рис. 2 – 4 приведены последовательные стадии интегрирования по времени системы ВВГКУ.

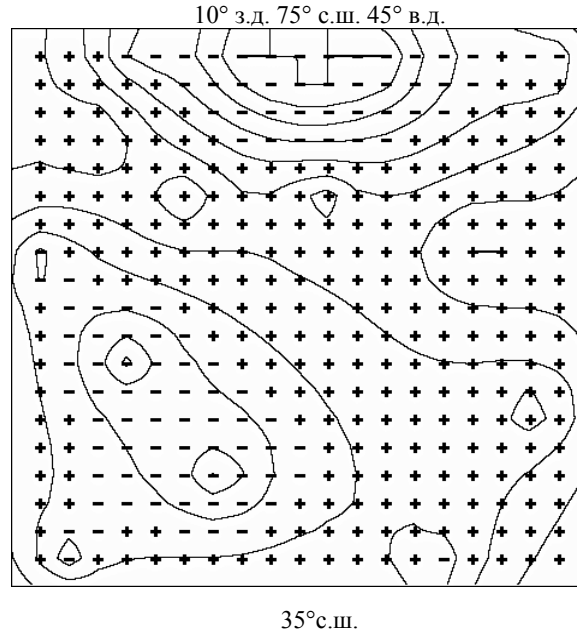
При последовательных стадиях интегрирования системы ВВГКУ происходит установившаяся адаптация облачных систем к конкретному типу моделируемого процесса. При этом выявляются атмосферные фронты, четко обозначенные увеличенными градиентами функции распределения. Индикация фронта по увеличенным градиентам функции распределения облачности вполне допустима, т.к. атмосферный фронт лучше всего прослеживается в поле облачности (особенно на спутниковых снимках облачности).



**Рис.4** Функция распределения облачности по скоростям вовлечения для эксперимента, приведенного на рис.1. (стадия установившегося влагооборота для смены траекторий циклонических вторжений на территорию Европы со Скандинавских на Бискайские).

На рис.5 приведена рассчитанная функция тока циркуляционной эпохи с преобладающей, согласно [2], С формой циркуляции, т.е. с гребневым меридиональным вторжением от Азорского максимума в северную Атлантику.

В данном случае распределение облачных систем фактически определяется блокированием влагопереноса на территорию Европы со стороны Атлантики и в основном влага поступает с северных акваторий. Существенно при этом то, что в холодных воздушных массах северного широтного пояса влагосодержание воздушных масс мало по сравнению с влагосодержанием воздушных масс более южного широтного пояса. Приход этих масс на территорию Европы обычно сопряжён с обильными осадками. Но если выход обводнённых воздушных масс на территорию Европы блокирован гребневой структурой С формы циркуляции, то проникновение влажного воздуха на территорию Европы не происходит и функция распределения облаков в данном случае имеет минимум, что продемонстрировано на рис. 6.

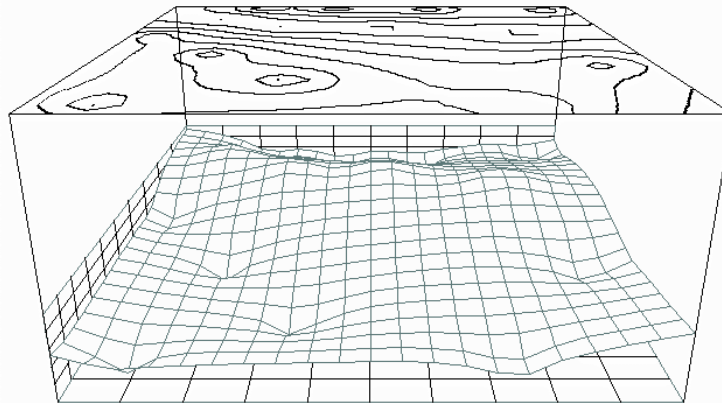


**Рис.5.** Функция тока циркуляционной эпохи, рассчитанная по модели Е.Н.Блиновой. Обозначения аналогичные с рис.3. Координатная привязка схемы совпадает с рис.3.

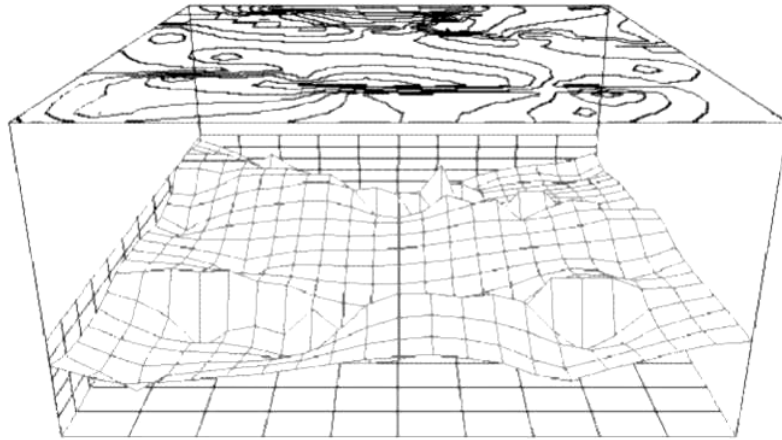
Тем не менее, по результатам интегрирования системы ВВГКУ полярный фронт проявляется (рис.7). Это объясняется проникновением влажных воздушных масс со стороны Средиземного моря.

Согласно результатам, приведенным на рис.6, наблюдается отсутствие облачности к востоку от блокирующего гребня, но в зоне арктического фронта прослеживается активность процесса облакообразования.

На рис.7 приведена рассчитанная функция распределения облачности циркуляционной эпохи с преобладающей С формой циркуляции, т.е. с гребневым меридиональным вторжением от Азорского максимума в северную Атлантику.



**Рис.6** Функция распределения облачности по скоростям вовлечения, прилагаемая к ситуации, приведенной на рис. 5.



**Рис.7** Функція розподілення обlačности для ситуації, приведенної на рис.5. Последовательная стадія інтегрування системи ВВГКУ.

#### **Выводы**

Функції розподілення обlačности складають основу формування конкретної кліматическої епохи. С їх допомогою для кліматическої епохи зональної циркуляції виділені положення основних кліматических фронтів - арктического і полярного. Тот же результат получен и для епохи с меридіональною формою циркуляції. Само же географіческое положення кліматических фронтів определяет основную суцність конкретної кліматическої епохи.

Для расчёта функцій розподілення обlačности было целесообразным применение методов физической кинетики, в которых отдельное облако в планетарном атмосферном процессе уподобляется молекуле находящейся в тепловом движении и имеющей координаты своего положения в пространстве и дополнительно координаты в виде проекций вектора скорости своего теплового движения. Для облаков скорости теплового движения заменены скоростями вовлечения. В целом обlačный ансамбль рассматривается в 6-мерном фазовом пространстве, что и позволило рассчитать функции распределения облаков, соответствующие конкретным климатическим термобарическим полям.

#### **Источники и литература**

1. Адем Х. О физических основах численного прогноза среднемесячных и среднесезонных температур в системе тропосфера-океан-материк / В кн. Теория климата. Сб. перев. статей. Под редакцией Л.С.Гандина, А.С.Дубова, М.Е. Швеца. Л.: Гидрометеоздат, 1967. – С. 258–292.
2. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – С. 280.
3. Блинова Е.Н. Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы. – Докл. АН СССР, 1943. – Т.39. – № 7. – С. 284–287.
4. Ефимов В.А., Ивус Г.П. О физике антициклогенеза современной климатической эпохи // Труды УкрНИГМИ, вып. 250. – К. 2002. – С. 78–91.
5. Ефимов В.А., Ивус Г.П., Белодонова Л.В. Динамика подинверсионных струй в течениях Куэтта и Пуазейля // Метеорология, климатология и гидрология, 1999. – Вып.38. – С.214–218.

#### **Костріков С.В.**

### **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У ФІЗИЧНІЙ ГЕОГРАФІЇ – ПЕРЕДВІСНИК І ПЕРЕДУМОВА ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ**

*Актуальність проблеми.* Сучасне впровадження геоінформаційних технологій та систем (ГІС), перш за все, пов'язане із зручністю їх використання у багатьох сферах практичної діяльності людини - виробничій, освітній, дослідницькій, або у будь-якій іншій. Подібна обставина змушує фахівців, які діють, наприклад, у різноманітних предметних галузях географії, геоєкології та охорони довкілля, змінювати звичайну методіку теоретичних та особливо прикладних досліджень, а ГІС-засоби надають користувачам цього програмного забезпечення можливість ефективного збирання, обробки, аналізу і візуалізації географічних даних та загалом тих, які мають просторове посилання.

Серед багатьох класів ГІС-об'єктів, які мають бути присутні в базі даних геоінформаційної системи (БД ГІС) [1-3], особливо місце посідають ті класи, які описують *ведучі процеси, явища та об'єкти природного довкілля*. Щодо останніх, то, наприклад, сучасна морфологія флювіального рельєфу обґрунтовано розглядається домінуючим фактором ландшафтних (геоекологічних) процесів [4]. Являючись чинником руслового і поверхневого стоку, вона, на нашу думку, може виступати критерієм як гідрологічного, так і геоєкологічного районування. Оскільки русловий стік забруднювачів (продукти життєдіяльності техносфери, важкі метали, живильні речовини антропогенного походження та інші) рішуче впливають на всі екосистеми, вивчення географічного ландшафту в геоморфологічному і гідрологічному аспектах означає