

Э. М. ЕВСЕЕВА, В. В. КИРИЧУК, Т. И. ПОЛИЩУК

СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ТРЕНДОВЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОЛЯ СКОРОСТЕЙ СВДЗК КАРПАТО-БАЛКАНСКОГО РЕГИОНА

В последние два десятилетия в науках о Земле, особенно в геологии, устоялось понятие тренд-анализа, под которым понимают «математический метод, используемый для исследования закономерного изменения геологического признака в пространстве и (или) во времени (анализ временных рядов)» [5, с. 193]. При этом полагается, что любое наблюдаемое значение какого-либо признака z можно представить суммой двух компонент, одна из которых рассматривается как неслучайная функция F , а другая — как случайная φ :

$$z(x) = F(x) + \varphi(x),$$

или

$$Z(x, y) = F(x, y) + \varphi(x, y), \quad (1)$$

где x, y — координаты точек наблюдения.

Неслучайная, детерминированная часть $F(x)$, или $F(x, y)$ должна в таком случае отражать закономерное изменение признака z в пределах исследуемой пространственной, временной или пространственно-временной области. Иными словами, детерминированная часть представляет собой общую тенденцию (тренд) в изменении признака z , отсюда и название метода. Случайная же часть $\varphi(x)$, или $\varphi(x, y)$, может быть вызвана двумя главными причинами: случайными ошибками измерений признака z , влиянием некоторых локальных флуктуаций этого признака.

Следует отметить, что детерминированная часть признака из-за сложности изучаемой системы, как правило, трудно описывается адекватными функциональными зависимостями и чаще всего представляет собой иерархическую последовательность систем, отражающихся во внешнем пространстве и времени в виде некоторой суперпозиции признака z . А поэтому в выполняемом тренд-анализе мы говорим об иерархии трендов, устанавливая последовательность их с точки зрения физической сущности изучаемого явления.

Мы провели ряд исследований [1—4] по выделению трендовых составляющих физических полей. Выполненный в [4] анализ существующих методов выделения трендов, представленных, например, в [5], позволил заключить, что наиболее оптимален статистический метод, подробно описанный в [1, 2]. Его оптимальность следует из того, что, во-первых, он максимально учитывает объективно существующие в природе множественные

физические связи между отдельными элементами системы признаков z в процессе их непрерывного развития во времени и в пространстве и, во-вторых, обеспечивает получение локальной составляющей, которая в действительности отражает второстепенные косвенные факторы развития системы, не проявляя аппаратную неточность при измерениях признака z [4].

Наиболее детально статистический метод апробирован при изучении поля современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) двух регионов: Карпато-Балканского (КБР) и Восточной Европы (ВЕ) [1—3]. Тем не менее, в некоторых случаях возникали неопределенности в разделении СВДЗК на трендовые составляющие. На них мы остановимся ниже. Напомним, что в основе статистического метода в применении к полю СВДЗК лежит предпосылка: изменение статистической структуры поля скоростей СВДЗК в зависимости от степени его сглаживания с помощью последовательного усреднения является индикатором масштабности простирания и глубины процессов дифференциации материала Земли, ответственных за общие тенденции движений земной коры в радиусе усреднения.

Иными словами, исходное поле СВДЗК, будучи сглаженным, представляет собой новое поле, структура которого зависит уже от процессов более масштабных и более удаленных от рассматриваемой поверхности.

На основании исследований, упомянутых выше, на территории КБР установлены более или менее уверенно два тренда поля СВДЗК, соответствующих усредненным полям с размером площадок усреднения по широте φ и долготе λ $1,25 \times 1,25^\circ$ и $4,25 \times 4,25^\circ$. При этом всего выполнялось пять усреднений с размерами площадок $\varphi \times \lambda$: $0,75 \times 0,75^\circ$; $1,25 \times 1,25^\circ$; $2,25 \times 2,25^\circ$; $4,25 \times 4,25^\circ$; $8,25 \times 8,25^\circ$.

Критерий выделения трендовой составляющей устанавливали, исходя из следующего. Поле скоростей СВДЗК рассматривали в виде реализации случайного процесса на плоскости. В данном случае статистические характеристики такого процесса, как эргодичного, должны стремиться к некоторым постоянным величинам. На предыдущем этапе исследований использованы две главные характеристики (математическое ожидание m_v и дисперсия D_v). В силу свойств этих характеристик m_v должно оставаться постоянным на всех этапах усреднения поля, а D_v , плавно уменьшаясь, стремится к некоторому минимальному значению или нулю (в частном случае). Если же такое поведение характеристик m_v и D_v будет меняться на каком-то этапе усреднения (они будут испытывать более или менее резкие скачки), значит, существует некоторая тенденция, нарушающая случайность процесса, зафиксированного данным усредненным полем СВДЗК. Поэтому полученное на этом этапе усреднения поле будет отражать некоторый трендовый процесс. Подтверждением такого вывода служит тектонический и геолого-геоморфологи-

ческий анализ поля СВДЗК [1, 2], который дает возможность устанавливать тенденции современных вертикальных движений земной коры. На основании описанной процедуры и были выделены усредненные поля с размером площадок $1,25 \times 1,25^\circ$ и $4,25 \times 4,25^\circ$ как трендовые составляющие.

А теперь остановимся на упомянутых выше неопределенностях в процедуре выделения трендов. Анализ графиков изменения m_v и D_v в [1, 2] показал, что малое число этапов усреднения ($n=5$) от минимального размера площадки ($0,25 \times 0,25^\circ$) до максимального ($8,25 \times 8,25^\circ$) могло привести к сильной сглаженности поля СВДЗК, а следовательно, к несоответствию радиуса усреднения масштабу геоморфологических структур. Поэтому тренды на малых радиусах усреднения могли не выделиться. Кроме того, следовало бы убедиться в достаточной чувствительности использованных статистик m_v и D_v в качестве критериев при разделении трендовых составляющих.

Для выяснения отмеченных неопределенностей в настоящей работе выполнено большее число этапов усреднения ($n=15$) с размерами площадок ($\varphi \times \lambda$): $0,5 \times 0,5^\circ$; $0,75 \times 0,75^\circ$; $1 \times 1^\circ$; $1,25 \times 1,25^\circ$; $1,5 \times 1,5^\circ$; $2 \times 2^\circ$; $2,25 \times 2,25^\circ$; $2,5 \times 2,5^\circ$; $3 \times 3^\circ$; $4 \times 4^\circ$; $4,25 \times 4,25^\circ$; $4,5 \times 4,5^\circ$; $5 \times 5^\circ$; $6 \times 6^\circ$; $8,25 \times 8,25^\circ$, а в качестве критериев апробированы и другие статистики: моменты начальные ν_i и центральные μ_i высших порядков и связанные с ними числовые характеристики (асимметрия A_i и эксцесс ε_i). Изменения всех статистик, сгруппированных по порядкам моментов ν_i и μ_i , для каждого этапа усреднения показаны на графиках (см. рисунок).

Отметим, что включительно по размер площадки усреднения $4,25 \times 4,25^\circ$ все статистики вычислялись по составляемым для каждого этапа усреднения вариационным рядам. Для площадок усреднения размером большим, чем $4,25^\circ$ они вычислялись через средние арифметические значения без учета весов (относительных частот), поскольку из-за малого числа усредненных значений исследуемого признака составить вариационный ряд не представлялось возможным.

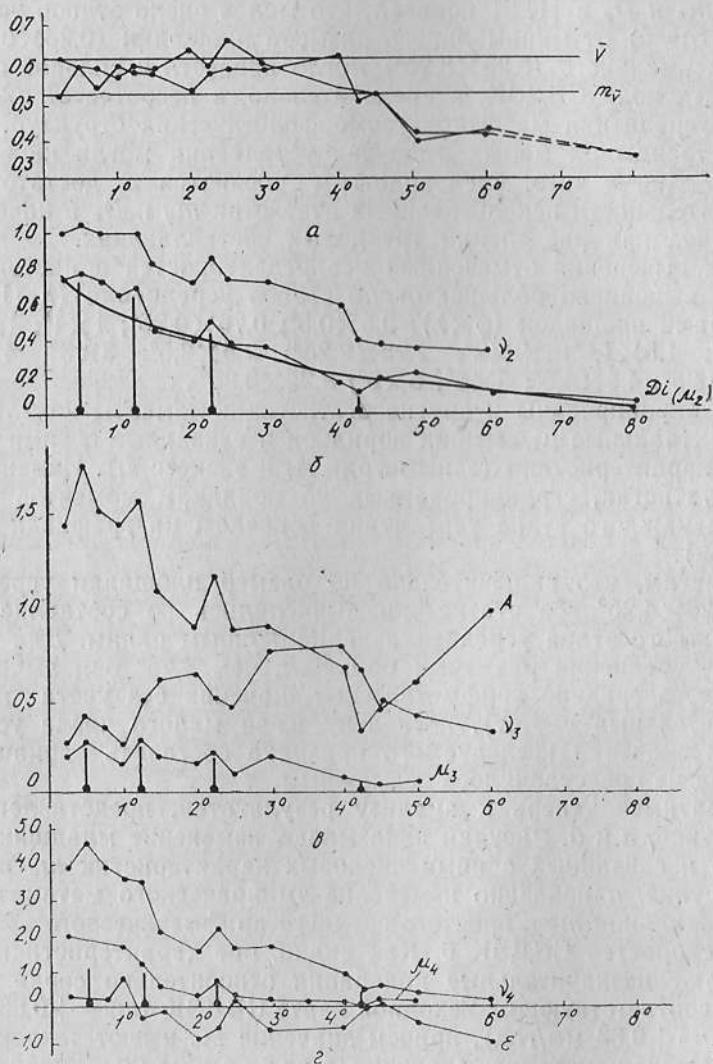
Обратимся теперь к анализу результатов, представленных на рисунке, а и б. Рисунки показывают изменение младших моментов и связанных с ними числовых характеристик m_v и D_v . На рисунке, а показано изменение эмпирического математического ожидания m_v и простого среднего арифметического из значений скоростей СВДЗК \bar{v} . Как видно, обе характеристики испытывают незначительные колебания относительно своих значений, соответствующих исходной карте СВДЗК ($m_v = +0,53$ мм/год и $\bar{v} = +0,63$ мм/год), причем значения m_v имеют тенденцию быть больше начального значения, в то время как \bar{v} — наоборот. На графике (см. рисунок, а) не выявляется какой-либо закономерности изменения статистик.

Рисунок, б свидетельствует об изменении второго начального момента ν_2 и дисперсии D_v , здесь же показан (жирной линией) экспоненциальный закон изменения теоретической диспер-

сии как среднего значения v второй степени [6] в виде эмпирически найденного соотношения

$$D_i = 0,77 e^{-17,2 r_i} \quad (2)$$

Здесь под r_i понимается размер площадки усреднения ($\varphi \times \lambda$). На графике рисунка, б заметны значительные отклонения от линии D_i значений D_v и v_2 , соответствующие усреднениям $0,5 \times$



Изменение статистик математического ожидания m_v (а), начального момента v_2 и дисперсии D_v (б), начального и центрального моментов v_3, μ_3 третьего порядка (в), начального и центрального моментов v_4, μ_4 четвертого порядка (г) для различных размеров площадок усреднения.

$\times 0,5^\circ$; $1,25 \times 1,25^\circ$; $2,25 \times 2,25^\circ$ и $4,25 \times 4,25^\circ$. Такие же, но более четкие, отклонения («скачки») обнаруживаются и на графиках начальных моментов высших порядков v_3 и v_4 (см. рисунок, в и г). При этом характер отклонений («вверх» — для первых трех усреднений и «вниз» — для последнего) сохраняется на всех графиках начальных моментов v_i . Что касается центральных моментов высоких порядков μ_3 и μ_4 , то их графики более сглажены, а вычисляемые на основании их характеристики асимметрии A_i и эксцесса ε_i показывают стойкую правую (положительную) асимметрию каждого усредненного поля СВДЗК и плосковершинность распределений скоростей СВДЗК на всех усреднениях соответственно.

Таким образом, статистическим критерием выявления трендовых составляющих поля СВДЗК могут служить дисперсия и начальные моменты высоких порядков v_3 и v_4 ; на основании этих статистик выявлены четыре трендовые составляющие поля СВДЗК КБР, две из которых установлены и ранее по пяти этапам усреднений [1, 2].

Для выявленных трендов наблюдаются минимальные отклонения статистик m_v и \bar{v} друг от друга (см. рисунок, а); возможно, это связано с характером (генезисом) скоростей СВДЗК определенного типа (размера) структур. Поведение эмпирического математического ожидания m_v фиксирует асимметрию закона распределения скоростей СВДЗК, что визуально подтверждается сравнением графиков m_v и A_i . Графики A_i и ε_i (рисунки, в и г) могут служить свидетельством отсутствия нормального закона распределения скоростей СВДЗК на всех этапах усреднения, а это, в свою очередь, признак некоторых систематических влияний, которые в интерпретационном плане с точки зрения физической сущности изучаемого явления мы связываем с проявлением движений структур определенного размера, соответствующего размеру площадки усреднения; очевидно, что эти характеристики в наших исследованиях имеют вспомогательное значение. Наиболее вероятно, что характер уклонений дисперсии D_v и высших моментов v_i «вверх» или «вниз» также связан с генезисом движений, что еще требует своего геолого-геоморфологического обоснования; сейчас можно только констатировать факт, что неглубокие структуры до ~ 200 км характеризуются отклонениями дисперсии вверх, а глубокие ≥ 400 км — вниз.

Итак, настоящие исследования подтвердили мысль авторов о связи статистической и физической структур поля СВДЗК, а также на примере этого поля показали еще раз оптимальность статистического метода выделения трендовых составляющих физических полей.

1. Евсева Э. М., Киричук В. В., Графов Е. Б. Современные вертикальные движения земной поверхности Восточной Европы и активные глубинные структуры // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1986. Вып. 43. С. 25—31. 2. Евсева Э. М., Киричук В. В. Статистический анализ поля современных вертикальных движений земной коры Карпато-Балканского

