

М. Д. Герасименко, А. П. Кириенко, Г. А. Шароглазова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СОВРЕМЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ СПОСОБОМ УРАВНИВАНИЯ РАЗНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ БЕЗ ТВЕРДЫХ ПУНКТОВ НА ПРИМЕРЕ ТОЛБАЧИНСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА (Камчатка)

При определении горизонтальной составляющей современных движений земной коры принято фиксировать в пространстве как минимум два пункта сети и выдвигать гипотезу о неизменности их взаимного положения во времени. Как показали исследования, такой подход в комплексе с неизбежными случайными погрешностями геодезических измерений в сети

В настоящее время к характеристикам горизонтальной составляющей современных движений земной коры (СДЗК), найденным по геодезическим данным, принято относить следующие величины:

- 1) векторы горизонтальных смещений точек земной поверхности;
- 2) компоненты деформаций земной поверхности;
- 3) разности наклонных дальностей.

Векторы горизонтальных смещений, как правило, определяются по разностям уравниваемых координат. Компоненты деформаций могут быть вычислены либо по разностям уравниваемых координат, либо по разностям непосредственно измеренных величин: а) углов треугольника (метод Франка), б) углов и сторон, образующих эти углы [7].

В свою очередь, разности уравниваемых координат могут быть получены двумя путями:

- 1) из раздельного уравнивания угловых или линейно-угловых измерений, выполненных в сравниваемые эпохи;
- 2) из уравнивания разностей измеренных величин параметрическим или коррелятным способом [1, 5].

При этом принято фиксировать в пространстве как минимум два пункта сети и выдвигать гипотезу о неизменности их взаимного положения во времени. Как показали исследования [2], такой подход в комплексе с неизбежными случайными погрешностями геодезических измерений в сети вносит весьма существенные искажения в реальную картину горизонтальных деформаций земной поверхности. Практически вероятность ее получения на противоположных от исходных пунктов краях сети приближается к нулю.

Способом, позволяющим увеличить достоверность получаемых результатов, является метод трансформирования, который дает лучшие ре-

зультаты, если в сети имеется система относительно стабильных пунктов, расположенных по краям сети. Однако, если число относительно стабильных пунктов невелико (около 17%) и они расположены на одном краю сети, то метод трансформирования не обеспечивает достоверность получения векторов горизонтальных смещений на противоположном краю сети.

Из вышеперечисленных характеристик горизонтальной составляющей СДЗК к неискаженным в результате математической обработки следует отнести разности наклонных дальностей и компоненты деформаций, вычисленные по непосредственно измеренным величинам.

Однако от традиционного способа отображения горизонтальной составляющей СДЗК с помощью векторных схем отказаться нельзя, так как именно эти схемы дают наиболее наглядную картину результирующих подвижек на обширных участках.

С целью увеличения достоверности отображения площадного распределения горизонтальных деформаций векторами предлагается производить уравнивание разностей измеренных сторон, направлений и азимутов без фиксации исходных пунктов в сети, т. е. все элементы в сети принимать за определяемые.

В основу предлагаемой методики положен параметрический способ уравнивания свободных геодезических сетей [9]. Методика реализована в виде программы, составленной М. Д. Герасименко на языке ФОРТРАН-IV (Е.С. ЭВМ). При этом используются три типа уравнений поправок разностей: направлений, сторон и дирекционных углов. Веса уравниваемых величин вычисляются по формуле

$$P_i = \frac{\mu^2}{m_i^2}, \quad (1)$$

где m_i — средняя квадратическая ошибка соот-

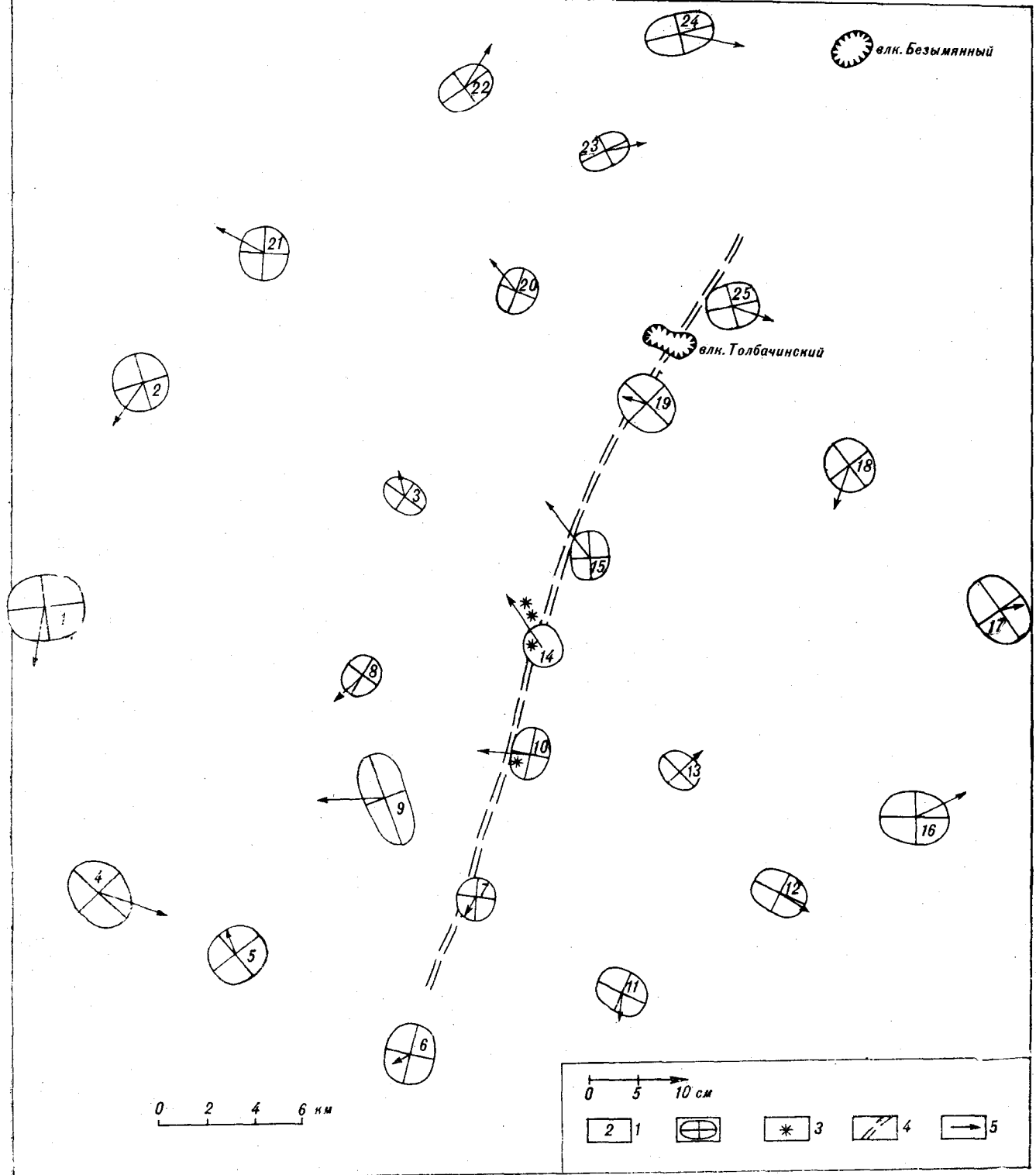


Рис. 1. Схема векторов горизонтальных смещений на Толбачинском геодинамическом полигоне 1976—1977 гг.
 1 — пункт триангуляции; 2 — эллипс ошибок; 3 — места образования Новых Толбачинских вулканов (Северный и Южный прорывы); 4 — основной разлом; 5 — векторы горизонтальных смещений.

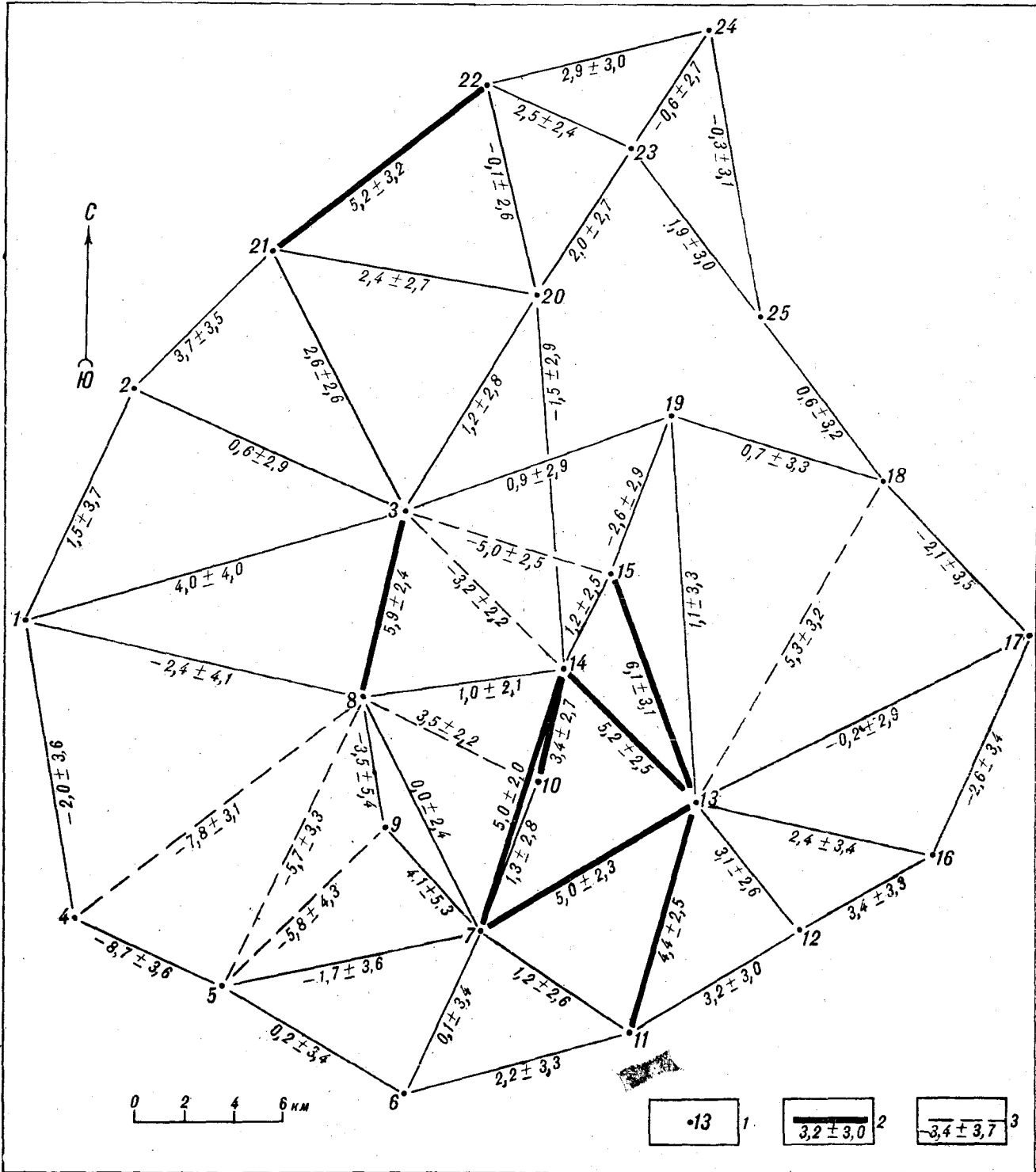


Рис. 2. Схема разностей уравненных сторон.

1 — пункт триангуляции; 2 — сторона триангуляции со значимым растяжением; величина растяжения и характеристика точности его определения в см; 3 — сторона триангуляции со значимым сжатием; величина сжатия и характеристика точности его определения в см.

ветствующей разности, μ — средняя квадратическая ошибка единицы веса, принятая до уравнивания.

Единственное нормальное псевдорешение уравнений поправок, удовлетворяющее условию метода наименьших квадратов

$$V^T P V = \min, \quad (2)$$

дает вектор урвненных разностей координат двух эпох

$$X = -N^+ L, \quad (3)$$

где псевдообратная к матрице нормальных уравнений N матрица, удовлетворяющая условию $X^T X = \min$, с целью повышения устойчивости решения и ослабления влияния ошибок округлений находится по формуле

$$N^+ = \sum_{i=1}^r \lambda_i^{-1} Z_i Z_i^T, \quad (4)$$

λ_i и Z_i — собственные значения и соответствующие им собственные векторы матрицы N ;

$$r = 2n - d, \quad (5)$$

r — ранг матрицы N ; d — дефект сети, равный числу недостающих исходных данных, необходимых для установления масштаба, ориентировки или положения сети относительно принятой системы координат; L — вектор свободных членов системы нормальных уравнений; P и V — весовая матрица и вектор поправок к разностям измерений двух эпох.

Для оценки точности любых параметров СДЗК используется формула

$$m_f = \sqrt{f K(X) f^T}, \quad (6)$$

где f — строка коэффициентов весовой функции; $K(X) = \sigma^2 N^+$ — ковариационная матрица разностей урвненных координат двух эпох; σ — средняя квадратическая ошибка единицы веса из уравнивания.

В качестве дополнительной характеристики точности определения величин СДЗК вычисляются параметры эллипсов ошибок получения горизонтальных смещений пунктов.

Предлагаемым способом урвнены разности направлений и сторон, измеренных в 1976 и 1977 гг. в линейно-угловой сети Толбачинского геодинимического полигона. Результаты уравнивания представлены на рис. 1 и 2.

Ошибки векторов горизонтальных смещений пунктов возрастают по мере удаления от центра сети и не превышают 3,4 см, большая полуось эллипса ошибок по сети не превышает

3,8 см. С вероятностью 94,3—97,2% можно утверждать, что значимые векторы горизонтальных смещений получены на пунктах 1, 4, 8, 21 и 24. Для пунктов 9, 10, 14 и 15 вероятность утверждения о значимости векторов составляет 98,8—99,7%.

На рис. 2 выделены значимые с вероятностью не ниже 91,1% разности урвненных сторон, с помощью которых выявляются зоны расширения и сжатия, расположенные вокруг Северного и Южного прорывов Большого трещинного Толбачинского извержения (БТТИ) 1975—1976 гг. Зона сжатия распространилась относительно узкой полосой на юго-запад от Южного прорыва.

Программа прошла также испытания на модельной сети сплошной триангуляций, состоящей из 36 правильных треугольников с длиной стороны 10 км. В модели были заданы горизонтальные деформации и смоделированы случайные погрешности угловых измерений. Средняя квадратическая ошибка отклонений полученных векторов от заданных получилась равной $\pm 5,5$ см. В целом отмечена хорошая сходимость заданных деформаций с полученными предлагаемым способом.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемый способ определения горизонтальной составляющей СДЗК дает более надежные по сравнению с уравниванием традиционными способами результаты, так как позволяет исключить влияние на значения искоемых векторов систематических ошибок измерений, ошибок редуцирования и ошибок исходных данных.

2. По результатам уравнивания разностей измеренных горизонтальных направлений и сторон получена уточненная по сравнению с ранее полученными данными [3, 4, 8] картина горизонтальных деформаций земной поверхности в районе БТТИ в период 1976—1977 гг. Она хорошо согласуется со схемами площадного распределения компонент деформаций, найденными по непосредственно измеренным величинам (углам и сторонам).

3. Уверенно (с вероятностью 95%) зафиксирована зона сжатия в центре полигона, которая связана, очевидно, с происходившим в этот период процессом остаточных деформаций, вызванных БТТИ в 1975—1976 гг. [6].

4. Существенных горизонтальных деформаций на севере сети не отмечено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изотов А. А. О геодезических методах изучения движений земной коры. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1963, № 1.

2. Изотов А. А. Опыт моделирования горизонтальных движений земной коры. — В кн.: Проблемы современных движений земной коры. Третий Междуна-

- родный симпозиум. Ленинград, СССР, М., 1968.
3. Кириенко А. П. Результаты определения горизонтальных деформаций земной поверхности в районе Большого трещинного Толбачинского извержения по материалам угловых и линейных измерений, 1971, 1976 и 1977 гг.— Бюл. вулканологических станций, № 56, М., 1979.
 4. Кириенко А. П., Шульман В. А., Никитенко Ю. П. Анализ методов и результатов геодезических работ на Толбачинском геодинамическом полигоне в 1971—1976 гг.— В кн.: Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975—1976 гг. М.: Наука, 1978.
 5. Панкрушин В. К. Геодезические методы определения и оценка точности некоторых параметров горизонтальных движений земной коры. Новосибирск, 1972. (Тр. НИИГАиК, т. 27.)

Предприятие ГУГК

6. Федотов С. А., Эман В. Б. и др. Деформации земной поверхности вблизи Новых Толбачинских вулканов (1975—1976 гг.).— В кн.: Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975—1976 гг. М.: Наука, 1978.
7. Шульман В. А., Фотиади Э. Э. и др. Изучение полей деформаций земной коры методом конечных элементов.— Геодезия и картография, 1979, № 5.
8. Шульман В. А., Шароглазова Г. А. Горизонтальные и вертикальные деформации земной поверхности в районе Большого трещинного Толбачинского извержения по данным геодезических измерений 1971, 1976 и 1977 гг.— Вулканология и сейсмология, 1980, № 3.
9. Ashkenazi V. Criteria for optimization: a practical assessment of a free network adjustment.— Bollettino di geodesia e scienze affini, 33, 1974, N 1.

Поступила в редакцию
13 января 1983 г.

УДК 551.734.3

М. В. Горошко

О ДЕВОНСКИХ СВИТАХ ЮГО-ЗАПАДНОГО СИНЕГОРЬЯ (Ханкайский срединный массив)

Изучение состава отложений различных свит юго-западного Синегорья в обнажениях, находящихся на различном расстоянии от палеоцентров вулканизма, позволило сделать вывод об одновременности их образования и приуроченности к разным фаціальным

зонам единых вулканогенно-осадочных формаций. Описываются условия их формирования, предлагается новая стратиграфическая схема девонских отложений района.

Девонские вулканогенные образования Ханкайского срединного массива впервые выделены и описаны Н. Г. Мельниковым [5]. Позднее Л. А. Изосов [3] отнес к девону сложный комплекс пестрых по составу отложений, развитых в бассейнах рек Черниговки, Синегорки, Тихой, Снегуровки (см. рисунок), и расчленил их на вассиановскую, тихорецкую, левочерниговскую свиты, светлояровскую толщу, люторгскую свиту и толщу диабазов суммарной мощностью около 9750 м [2].

Возраст отложений обоснован Л. А. Изосовым находками фораминифер среднего девона — *Cribrosphaeroides simplex* (Reifl.), *Bisphaera elegans* Viss., *Tournayellides* и др. в прослоях известняков второй пачки вассиановской свиты, а также флоры раннего (Psilophytites sp., *Platylphyllum* sp.) и среднего (*Protohyehia* sp. nov. *Ghyrtophyton* sp., *Protolpidodendron sharianum* Kreya *Blasaria* sp.) девона в кремнистых алевролитах люторгской свиты.

Четкие взаимоотношения девонских свит не установлены. Л. А. Изосов придерживается мнения о согласном залегании отложений вассиановской, левочерниговской свит и вышележащей светлояровской толщ. Что касается положения в разрезе тихорецкой и люторгской свит, то проведенные работы с примене-

нием опорного и картировочного бурения однозначного ответа на этот вопрос не дали. Мощностность девонских вулканогенных образований, определенная по разрозненным разрезам, значительно завышена и не соответствует данным глубинного сейсмического зондирования [1] и результатам опорного бурения.

Детальное изучение разрезов отложений тихорецкой, вассиановской, левочерниговской и люторгской свит позволило объединить их в единый вулканогенно-терригенный комплекс, а выделенные Л. А. Изосовым стратиграфические подразделения или их части считать стратиграфическими аналогами. На синхронность их образования указывают следующие данные.

В первой и второй пачках вассиановской свиты наблюдаются горизонты и линзы карбонатизированных миндалекаменных и массивных эффузивных диабазов, аналогичных левочерниговским. Л. А. Изосовым они описаны в истоках р. Грибной, а нами — в керне скважин в верховьях левых притоков руч. Падь Шутева. Залегают они параллельно слоистости в песчаниках и алевролитах. В кровле наблюдается тонкий прослой левобрекчии, поверхность контакта диабазов с перекрывающими их породами неровная, бугристая. Мощность горизонтов лавы до 1—2 м.