

# ОБ АЛГОРИТМЕ ПОСТРОЕНИЯ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ДЛЯ ТРИАНГУЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗЕМНЫХ СЛОЕВ

Н. А. Тюкачев

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 31.10.2013 г.

**Аннотация.** В этой работе вводится структура данных, позволяющая описывать разрывные нарушения, а также формулируется алгоритм, предназначенный для корректировки триангулированных поверхностей, пересекаемых разрывными нарушениями.

**Ключевые слова:** алгоритмы вычислительной геометрии, триангуляция.

**Annotation.** In this work the structure of the data is entered, allowing to describe explosive infringements, and also the algorithm intended for updating triangulation of surfaces, crossed is formulated by explosive infringements.

**Keywords:** algorithms of computing geometry, a triangulation.

В результате применения любого из многочисленных алгоритмов триангуляции [1–3] получается набор треугольников, определяющий взаимнооднозначное соответствие между координатами ( $x, y$ ) и точками поверхности. Это не позволяет описывать различные разрывные нарушения типа карнизов.

Земная кора обладает различной подвижностью. На поверхности Земли постоянно возникают горные системы и океанические впадины. Осадочные породы первоначально залегают горизонтально. Сейсмические явления, землетрясения, вулканизм выводят пласты из горизонтального положения, нарушая первичную форму залегания. Эти нарушения получили название *дислокаций*. Дислокации в зависимости от вида тектонических движений разделяют на *складчатые* (неразрывные) и *разрывные*.

Складчатые дислокации формируются без разрыва сплошности слоев. К ним относятся *моноклинали*, *флексура* и *складка*. Моноклинали – наиболее простая форма связанных тектонических нарушений в слоистых горных породах, связанная с наклонным залеганием слоев, которые однообразно падают в одном направлении с углом более 5 градусов. Флексура, моноклинали и горизонтальное залегание слоев, нарушается коленообразным изгибом, обусловленным воздействием на породы тангенциальных тектонических сил. Складки – тектонические нарушения, представляющие

собой волнообразные изгибы слоев горных пород, среди которых выделяют выпуклые (антиклинали – замок расположен вверху, крылья – внизу) и вогнутые (синклинали – замок расположен внизу, а крылья – вверху).

Разрывные тектонические нарушения образуются в результате раскалывания горных пород крупными трещинами на блоки, которые перемещаются вдоль трещин относительно друг друга с образованием разрывных структур. Эти нарушения могут возникнуть при интенсивном сдвливании или, наоборот, при растягивании пород. Разрывные нарушения представляют собой трещины, поверхности скольжения, зоны смятия или разлома, с большими или меньшими перемещениями по ним. Амплитуда смещения может быть от нескольких сантиметров до километров при ширине трещин до нескольких метров. Своими сравнительно большими размерами и существенной амплитудой смещения (вдоль плоскости разрыва или в перпендикулярном к нему направлении) разрывные нарушения отличаются от безамплитудных (или микроамплитудных) трещин в горных породах, которые тоже в конечном итоге являются разрывами.

При *растяжении* с разрывом пород один блок взгромождается на другой и возникают *взбросы* (обратные сбросы) или *надвиги* (угол падения плоскости разрыва  $<45^\circ$ ). Во всех случаях в месте разрыва происходит некоторое сокращение земной коры и вертикальное перемещение блоков пород.

К разрывным дислокациям относятся *сбросы, взбросы, грабены, горсты, сдвиги* и *надвиги* (рис. 1: а – неподвижная часть земной коры, б – подвижная часть).

*Разлом* — термин, характеризующий разрывное нарушение с относительно крутым или вертикальным падением и с существенным перемещением в плоскости разрыва. Это определение не подразумевает способа образования разрывного нарушения и не зависит от направления относительного перемещения висячего и лежащего крыла

Все разломы подразделяются на три большие группы:

а) *взбросы* — разрывные нарушения, приводящие к сокращению (в плане) поверхности прилегающего к нарушению участка земной коры. Для взброса характерно относительное приподнимание висячего бока или, соответственно, опускание лежащего бока. Взброс – разрывное нарушение, которое заключается в поднятии подвижной части земной коры по отношению к неподвижной в результате тектонического движения.

б) *сбросы* — разрывные нарушения, приводящие к увеличению (в плане) поверхности прилегающего к нарушению участка земной коры. Для нормального сброса характерно относительное опускание висячего бока или соответствующее поднятие лежащего бока. Сбросы – разрывные нарушения, при которых подвижная часть земной коры опускается вниз по отношению к неподвижной.

в) *сдвиги* — разрывные нарушения с горизонтальным (или обладающим горизонтальным) направлением перемещения одного или

обоих блоков, составляющих бока нарушения. Это чисто морфологический признак для выделения сдвигов. Сдвиг – представляет собой разрывное нарушение, в котором происходит горизонтальное смещение горных пород по простиранию.

Взбросы и сбросы во многих случаях характеризуются наличием горизонтальной составляющей перемещения и, таким образом, превращаются в взбросо-сдвиги и сбросо-сдвиги. Номенклатура наименований, зависящая от направления перемещений нависающего блока по разрывному крушению, представлена на рис. 1.

*Грабен* – движение земной коры, при котором подвижный участок земной коры опускается по отношению к двум неподвижным участкам в результате тектонического движения.

*Горст* – обратное грабену движение земной коры.

Даже на равнинных участках поверхности существует большое количество разломов. Так, например, на рис. 2 представлен фрагмент карты Якутии с многочисленными линиями разрывных нарушений.

Далее рассмотрим только разрывные нарушения. Будем считать, что линии разрывных нарушений образуют на плоскости граф, из узлов которого выходят векторы (рис. 3). Поэтому в структуру узлов TBreakNode входят следующие поля:

P – координаты узла;

Azimuth – азимут вектора (угол между проекцией вектора и осью X);

Inclination – отклонение вектора от плоскости XY.

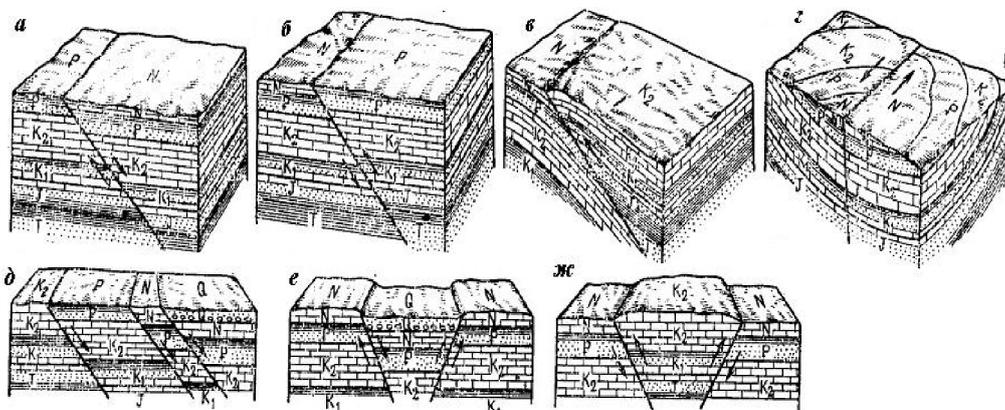


Рис. 1. Разрывные типы дислокаций:

а – сброс; б – взброс; в – надвиг; г – сдвиг; д – ступенчатый сброс; е – грабен; ж – горст

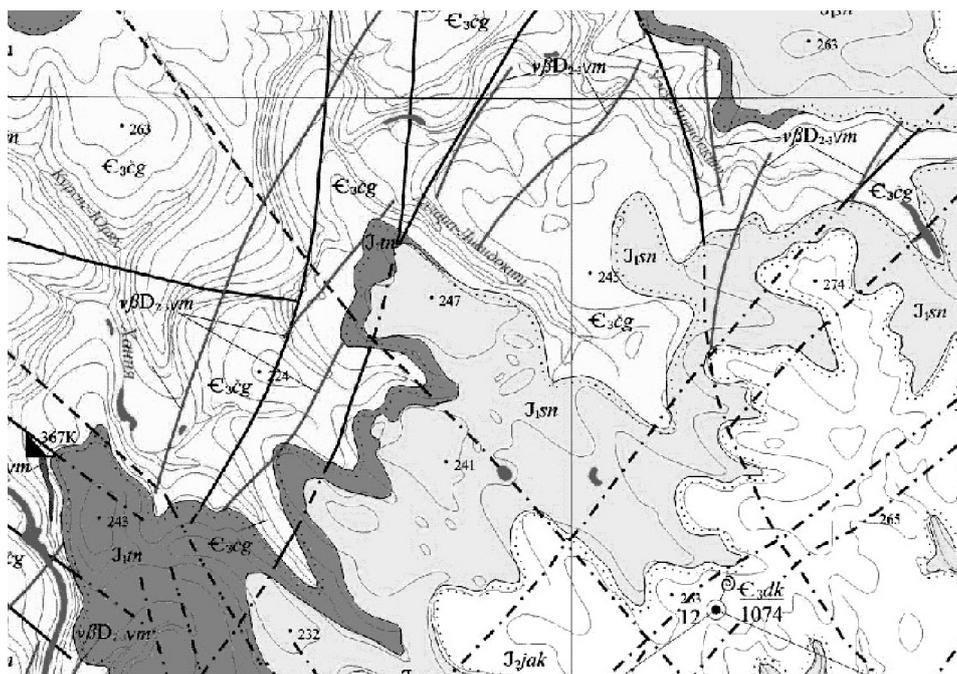


Рис. 2. Фрагмент карты с линиями разрывных нарушений

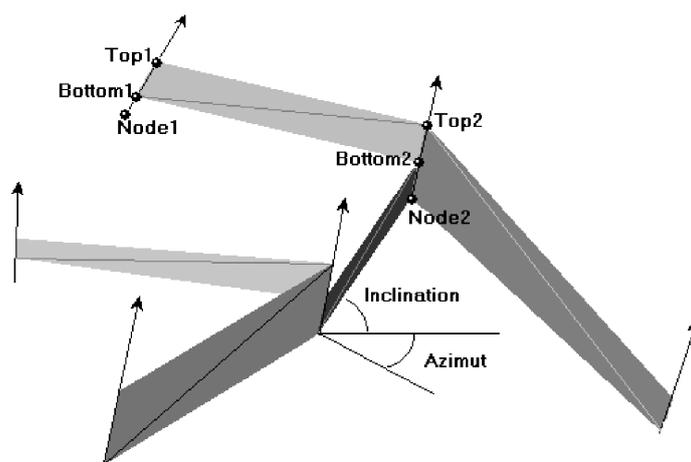


Рис. 3. Граф линий разрывных нарушений

В общем случае любая пара векторов разрывных нарушений не лежит в одной плоскости. Поэтому четырехугольник сдвигов слоев на любой паре векторов будем описывать двумя треугольниками. На карте этот четырехугольник изображается линией, структура TBreakLine которой обладает следующими полями:

Node1 – номер первого узла ;

Node2 – номер второго узла;

Top1 – верхнее отклонение сдвига от первого узла;

Bottom1 – нижнее отклонение сдвига от первого узла;

Top2 – верхнее отклонение сдвига от второго узла;

Bottom2 – нижнее отклонение сдвига от второго узла;

Sign – знак, определяющий с какой стороны от четырехугольника будут опускаться элементы триангуляции (рис. 3).

На рис. 4 показан случай появления на треугольнике трех ступеней в результате преобразования его на разломе.

Алгоритм преобразования треугольника, попавшего на разлом, в общем случае состоит из следующих шагов:

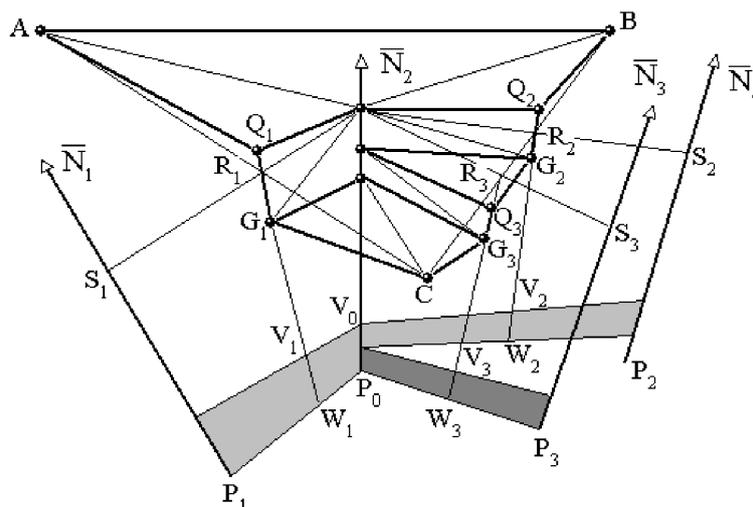


Рис. 4. Преобразование треугольника, попавшего на разлом, в общем случае

1. Определить координаты точек  $S_i$  пересечения векторов  $N_i$  с плоскостью треугольника ABC.
2. Определить координаты точек  $R_i$  пересечения разлома с ребрами треугольника.
3. Определить координаты точек  $W_1$  и  $W_2$  на прямой  $P_1P_2$ , разделив отрезок  $P_1P_2$  пропорционально отрезкам  $S_iR_i$ .
4. На лучах  $W_iR_i$  ввести дополнительные точки  $Q_iG_i$  с расстоянием между ними равным

расстоянию между точками  $W_iV_i$ , так чтобы точка  $R_i$  делила отрезок  $Q_iG_i$  в том же отношении, что и отрезок AC.

5. Построить триангуляцию треугольника ABC, опирающихся на точки  $R_i$ .
6. Добавить ребра, соответствующие триангуляции и опирающихся на точки  $Q_i, R_i$ .
7. Добавить треугольники, опирающихся на те же точки.

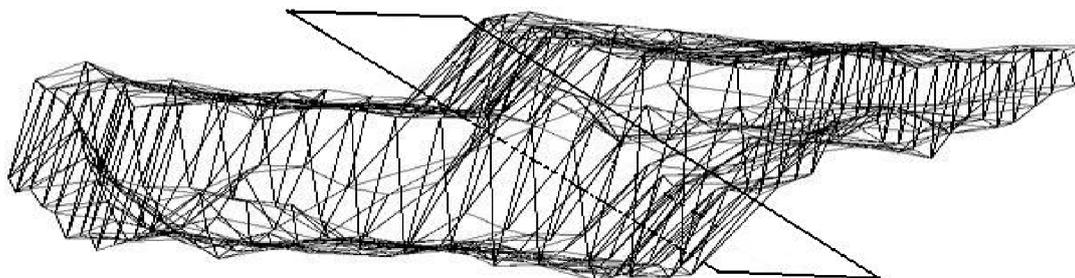


Рис. 5. Первоначальная триангуляция слоя

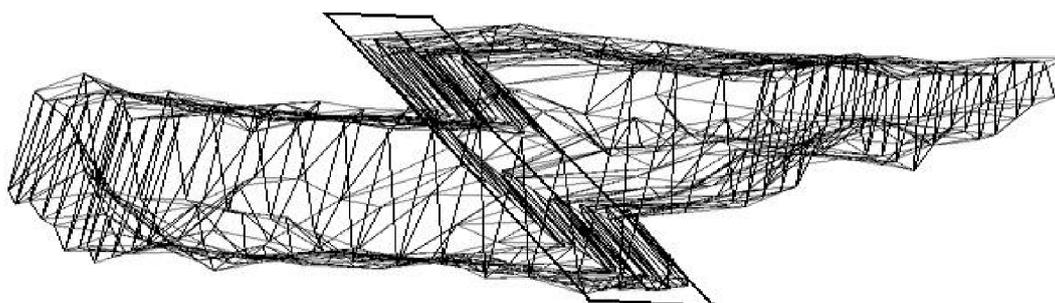


Рис. 6. Преобразованная триангулированная поверхность

Плоская триангуляция поверхности «сглаживает» разрывы (рис. 5).

Предлагаемый алгоритм вносит поправки в триангуляцию, а в случае надвигов приводит к появлению карнизов (рис. 6).

Алгоритм реализован в проекте «Kimberlit-Explorer».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abdul-Rahman A., Pilouk M.* Spatial Data Modelling for 3D GIS. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2008, – 288 p.

**Тюкачев Н. А.** – к.ф.-м. н., доцент кафедры программирования и информационных технологий ФКН, ВГУ. Тел. (473)220-84-70. Email: nik@cs.vsu.ru

2. *Скворцов А.В.* Алгоритмы построения и анализа триангуляции. / А.В. Скворцов, Н.С. Мирза. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 167 с.

3. *Скворцов А.В.* Алгоритмы построения триангуляции с ограничениями // Вычислительные методы и программирование. 2002. № 3. С. 82–92 (<http://num-meth.srcc.msu.su>).

4. *Тюкачев Н.А.* Разработка алгоритмов вычислительной геометрии и их реализация в трехмерной геоинформационной системе / Н.А. Тюкачев; Воронежский госуниверситет. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2009. – 244 с.

**Tyukachev N. A.** – Candidat of Physics-math. Sciences, Associate Professor, the dept. of the Programming and Information Technologies, VSU. Tel. (4732)208-470. E-mail: nik@cs.vsu.ru