

ГЕОКИНЕМАТИКА КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Л.И. Четвериков

Воронежский государственный университет

В случае геологических объектов, именуемых корами выветривания, действует закон геокинематики, говорящий о том, что геометрия генезиса геологического объекта определяет его геометрию (морфологию и строение), в основе которого лежит фундаментальный «принцип симметрии» П.Кюри с наиболее общей формулировкой: «симметрия причин вызывает симметрию следствий».

В качестве самостоятельного геологического объекта изучения кора выветривания оформилась давно. Существует огромное количество публикаций, посвященных описанию кор выветривания разных типов, образовавшихся в разное время, в разных условиях и разных местах. В этом плане можно отметить обобщающие работы И.И. Гинзбурга, В.П. Петрова и ряда других ученых. Обращает на себя внимание, что во всех работах, посвященных корам выветривания, характеризуется строение разреза коры выветривания, особенности ее вещественного, минерального и породного состава зон, а также физико-химические процессы генезиса коры выветривания. При этом практически не уделяется внимание геометрии строения коры выветривания. В лучшем случае говорится о распространении коры выветривания, позволяющее судить о размерах и форме этого геологического тела. Данный пробел может восполнить геокинематический анализ [1, 2] коры выветривания, при котором рассматриваются исключительно геометрические особенности формы, строения и генезиса данного геологического объекта. Подобный геометрический подход позволяет обратить внимание на некоторые интересные особенности в геометрии строения и генезиса кор выветривания, не отмеченные ранее.

Несмотря на все кажущиеся вещественные отличия состава отдельных кор выветривания и химико-петрофизических процессов их образования, геометрия разных типов кор выветривания оказывается весьма близкой. Может быть, это обстоятельство и послужило для выделения коры выветривания как общего формационного образования, единого геологического объекта. В связи с этим в дальнейшем «кора выветривания» рассматривается как обобщенное понятие геологического объекта, представляющего собой «континентальную геологическую формацию, образовавшуюся на дневной поверхности в результате изменения исходных горных пород под воздействием жидких, газообразных атмосферных и биологических агентов» [6].

К этому определению следует добавить, что в данном случае под корой выветривания «подразумевается только продукты изменения (выветривания) тех или иных материнских пород, оставшиеся на местах первоначального залегания» [3].

Образование кор выветривания (далее К.В.) обусловлено совместным действием следующих основных факторов:

1. Наличием в течение длительного промежутка времени особого климата.

2. Наличием окружающей среды, представленной определенной породой или комплексом пород, находящейся в статическом состоянии.

3. Циркуляцией в окружающей среде по зонам проницаемости водных растворов.

4. Обусловленное тремя выше названными факторами наличие особых физико-химических процессов, протекавших в окружающей среде.

Геометрия механизма образования К.В. определялась с одной стороны геометрией строения окружающей среды, а с другой – геометрией циркуляции в ней водных растворов.

В свою очередь геометрия К.В. состоит из геометрии морфологии залежи, иначе, тела К.В. и геометрии ее строения.

В морфологическом отношении выделяют три типа: «площадную», «линейно-площадную» и «линейно-трещинную» К.В. Площадная К.В. имеет в плане изометрическую, плащеобразную форму, которая геометрически описывается двумя геометрическими характеристиками: шириной (Н) и мощностью (М) тела. Ширина измеряется длиной прямых линий, проходящих через геометрический центр (0) площади контура К.В. Изменчивость контура можно определить посредством среднеквадратичного отклонения (σ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

где x_i – длина отдельной линии ширины; \bar{x} – средняя ширина К.В., равная диаметру круга, имеющего ту же площадь, что и площадь К.В.; n – количество линий ширины, проведенных в разных направлениях, участвующих в определении значения среднеквадратичного отклонения. Ширина (Н) К.В. на порядок и более больше ее мощности (М).

В отличие от площадной К.В. форма линейных К.В. характеризуется тремя геометрическими элементами: длиной (L), шириной (Н) и мощностью (М). Линия длины соответствует оси тела. Линия ширины ориентирована перпендикулярно длине, а линии мощности нормально к срединной поверхности тела К.В. [3].

Соотношение между данными геометрическими элементами следующее $L > H > M$. Немаловажное значение имеет вытянутость (В) тела, равная $B = L^2 / S$,

где L – длина и S – площадь контура тела на поверхности.

В строении К.В. обычно можно выделить три иерархических структурных уровня: уровень К.В., уровень зоны и минеральный уровень.

Уровень К.В. характеризует в целом К.В. На этом уровне в качестве структурных элементов неоднородности выступают отдельные зоны К.В. Максимальное количество таких зон, согласно принятому типовому профилю К.В., равно четырем, но встречается и меньшее количество (2–3) зон. На минеральном уровне таковыми являются крупные минеральные агрегаты и минеральные сростки.

В целом, К.В. обладают отчетливо выраженной анизотропностью. При переходе с уровня на уровень степень анизотропии строения, но не ее тип, последовательно уменьшается вплоть, в отдельных случаях, до изотропного строения на последнем уровне.

Для площадной коры выветривания характерно наличие двухосной анизотропии на всех трех структурных уровнях (рис. 1). Она выражается в том, что по латерали К.В. обладает относительно малой изменчивостью в своем строении. При этом характер и степень подобной изменчивости, в общем, практически одинаковы во всех направлениях по горизонтали. Геометрически такая изменчивость строения геологического тела может быть выражена горизонтальной тензорной осью анизотропии (I_H), ориентированной по радиусу от геометрического центра контура тела [2] или другими словами по линиям ширины тела (см. рис. 1). Вторая, векторная ось анизотропии, совпадает с направлением мощности К.В. В этом направлении строение К.В. обладает максимальной изменчивостью своего строения, обусловленного чередованием горизонтально залегающих зон выветривания на уровне К.В., квазислоистостью на уровне зоны и слабо выраженной сланцеватостью на минеральном уровне. Векторный характер оси анизотропии определяется наличием «верха» и «низа» в строении К.В. В свою очередь, наличие «вер-

ха» и «низа» обусловлено неповторяемостью, отличием отдельных зон друг от друга. Самая нижняя зона принципиально отличается от верхней. Геометрически подобную вертикальную изменчивость можно выразить векторной осью анизотропии (I_M), находящейся в центре тела и ориентированной по его мощности, т.е. перпендикулярно радиальной тензорной оси анизотропии (см. рис. 1) [2].

По своей величине, выражающей степень изменчивости строения К.В. в данных двух направлениях, эти оси анизотропии отличаются друг от друга на порядок и более ($I_H \ll I_M$), другими словами – степень изменчивости строения К.В. по латерали значительно меньше, чем по вертикали. Подобное сочетание тензорной и векторной оси анизотропии говорит о наличии симметрии конуса ($L_\infty \cdot \infty P$) у анизотропии изменчивости строения К.В. Однако при этом форма конуса, выражающая симметрию анизотропии, с переходом с уровня на уровень последовательно меняется от наиболее островеишинного, на уровне К.В., до менее островеишинного на минеральном уровне, отражая тем самым уменьшение степени анизотропности.

Как уже упоминалось, линейные К.В. имеют три геометрические характеристики: длину (L), ширину (H) и мощность (M), которым соответствуют три направления анизотропии (рис. 2). Наиболее изменчивой по мощности (I_M) оказывается линейная К.В., так же как и площадная, что обусловлено наличием тех же зон в вертикальном профиле К.В. Причем и в этом случае данная ось анизотропии (I_M) является векторной, в связи с наличием у линейной К.В. «верха» и «низа». Наиболее выдержана она в своем строении по простиранию, длине тела (L). Как правило, соответствующая этому направлению ось анизотропии представляет собой тензорную ось, указывающую на то, что оба фланга линейной К.В. одинаковы или весьма близки по своему строению.

Промежуточное положение по изменчивости строения занимает направление, соответствующее ширине тела. При этом общий характер строения может быть геометрически разным: симметричным и асимметричным (рис. 2В, Г).

При симметричном строении К.В. (рис. 2В) наблюдается практически одинаковое или весьма близкое строение обеих ее сторон. В этом случае ось анизотропии (I_M), ориентированная в направлении ширины, оказывается тензорной, так же как и ось (I_L), направленная по длине. В отличие от этого ось симметрии, ориентированная по мощности, является векторной. Сочетание одной векторной и двух тензорных осей анизотропии имеет симметрию, состоящую из одной оси симметрии второго порядка, ориентированную в центре по мощности (I_M), и двух вертикальных плоскостей симметрии (P_1 и P_2), одна из которых делит тело К.В. на две половины по длине, а другая по ширине (рис. 3А).

Иная картина наблюдается в случае асимметричной К.В. (рис. 2Б). Здесь в связи с таким строением К.В. ось анизотропии, ориентированная по ее ширине (I_H), оказывается векторной и таким образом только

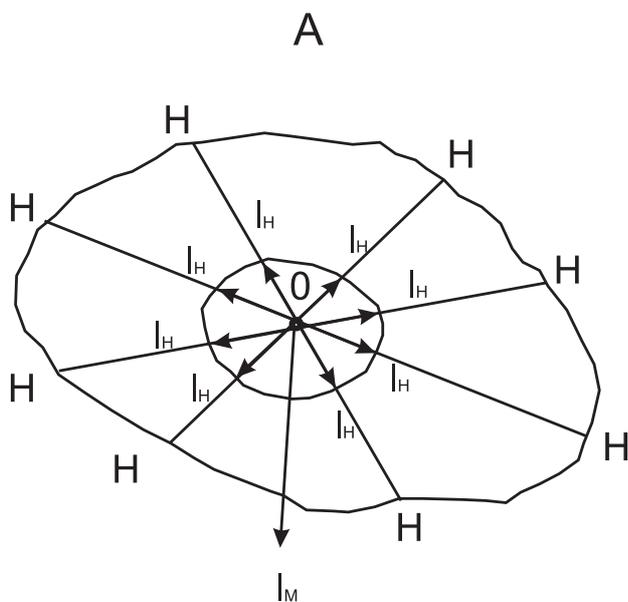


Рис. 1. Геометрия строения площадной коры выветривания. Общий характер двусосной анизотропии:

- $H-H$ – линии ширины тела коры выветривания;
- I_H – направления тензорной оси анизотропии изменчивости строения;
- I_M – векторная ось анизотропии

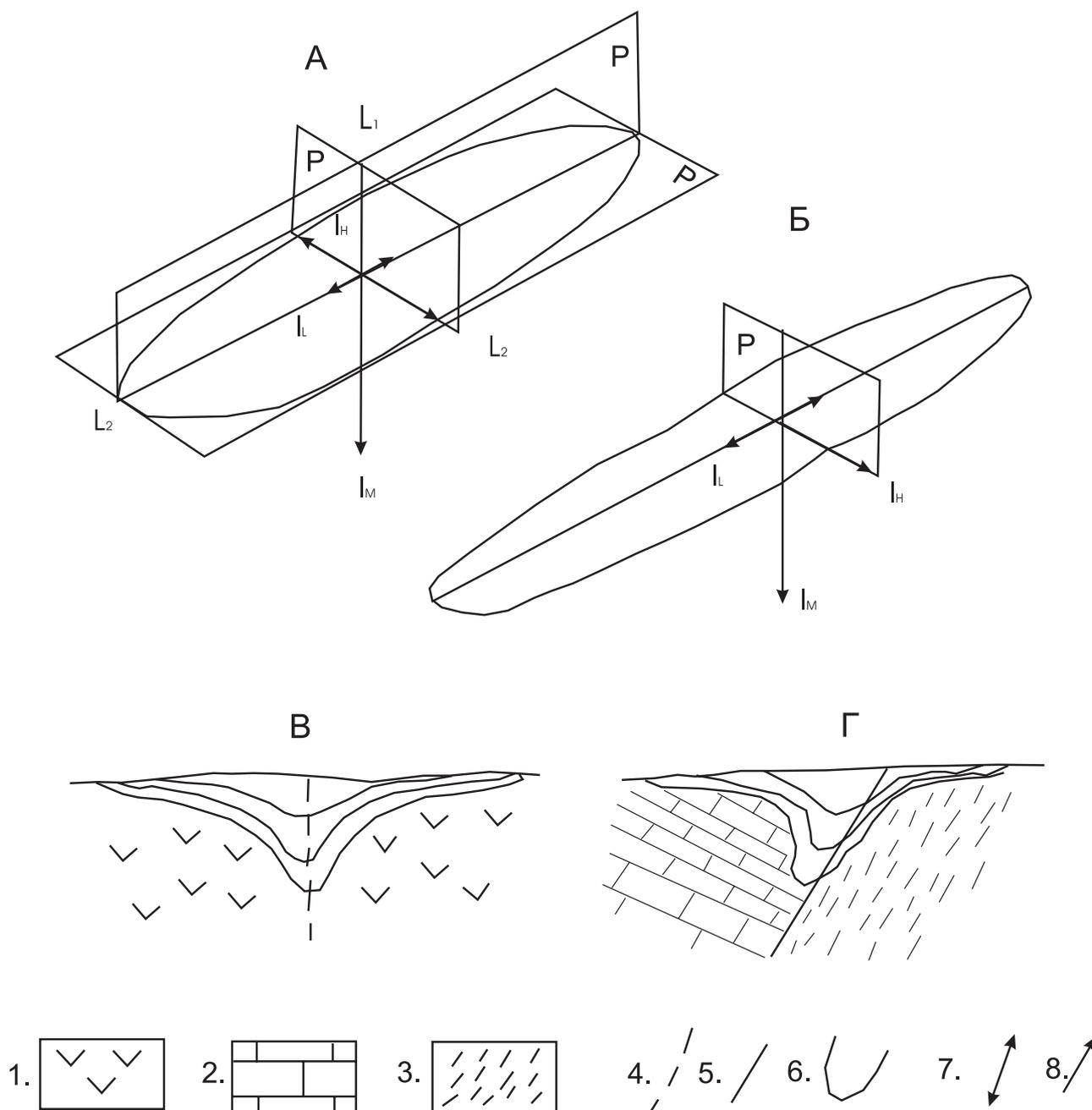


Рис. 2. Два вида линейных кор выветривания:

*A – симметричная, Б – асимметричная,
 В – строение симметричной коры в поперечном сечении, Г – то же в случае асимметричной коры.
 1. Однородная порода; 2. Песчано-глинистый известняк; 3. Сланцы;
 4. Линия тектонического нарушения; 5. Линия контакта; 6. Контур коры выветривания;
 7. Тензорная ось анизотропии; 8. Векторная ось анизотропии*

ось симметрии I_L является тензорной. Это приводит к уменьшению симметричности строения до одной плоскости симметрии (P) (рис. 2Б).

Интересно, что степень вытянутости (B) у линейной К.В. может быть разной. В данном случае под вытянутостью плоской фигуры понимается отношение

$$B = \frac{L^2}{S},$$

где L – длина фигуры и S – ее площадь. В том случае,

когда К.В. оказывается «целой», т.е. не нарушенной по ее простиранию вторичными процессами, обычно наблюдается связь между ее вытянутостью (B) и анизотропностью (A) по латерали, т.е. $B \approx K \cdot A$, где

$$A = \frac{I_H}{I_L},$$

I_H – величина оси анизотропии, ориентированная по ширине, выражающая степень изменчивости в данном направлении и I_L – величина оси анизотропии в

направлении вытянутости, простирания К.В., где К – коэффициент пропорциональности. Данное соотношение нарушается, когда К.В. после своего образования подверглось тем или иным вторичным нарушениям, например эрозии или тектоническим нарушениям.

Таким образом, суммируя вышесказанное можно говорить о наличии у К.В., в ее не нарушенном вторичными процессами состоянии:

1) двух видов геометрии морфологии, каждая из которых характеризуется своим набором геометрических элементов;

2) наличием тесной связи между геометрией формы и строения К.В., выражающейся в одинаковой ориентировке геометрических элементов формы и направлений анизотропии строения К.В., а также в прямой зависимости между вытянутостью формы и анизотропностью строения линейной К.В.

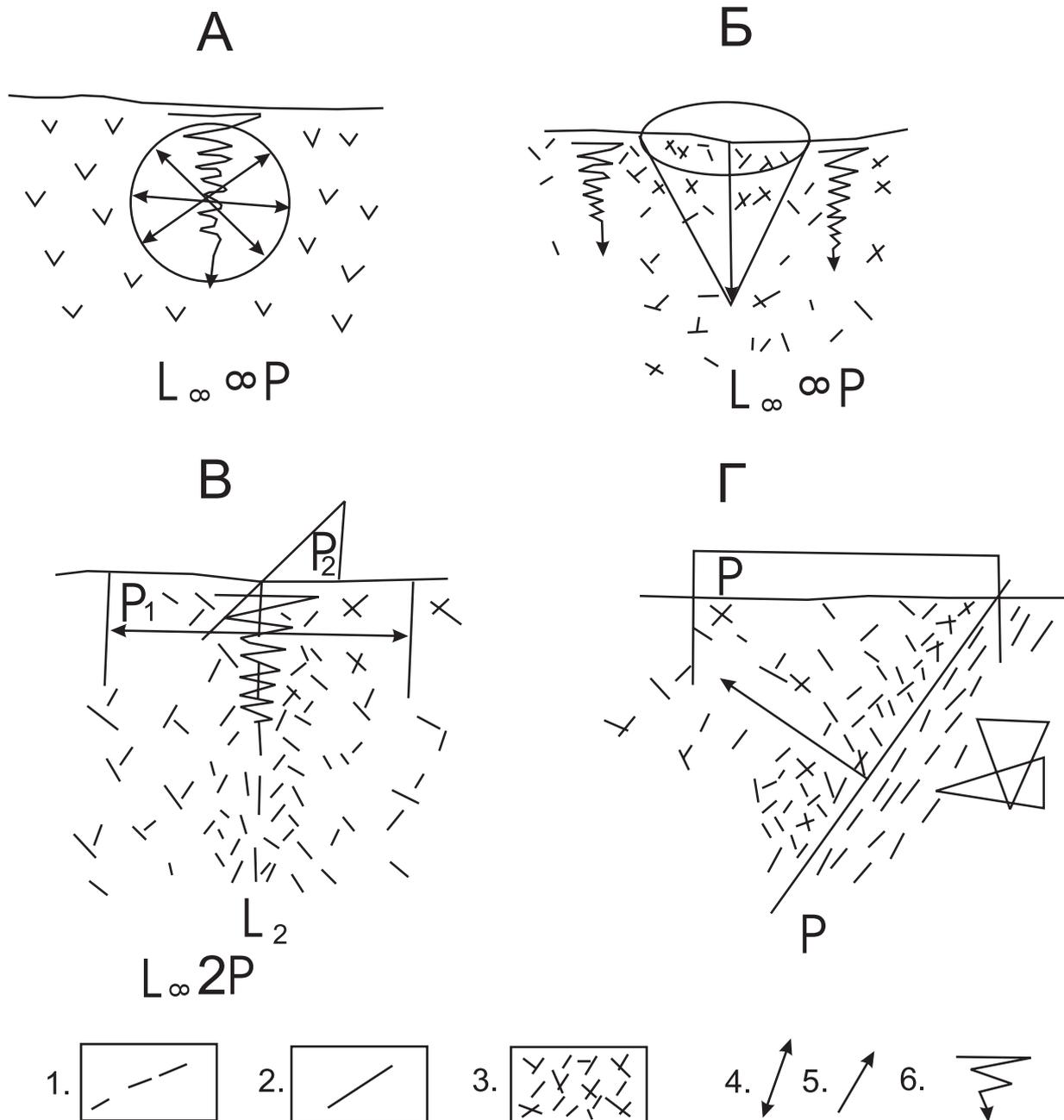


Рис. 3. Возможные варианты геометрий генезиса коры выветривания в вертикальном поперечном сечении (пояснения в тексте):

А – в случае однородной окружающей среды,

Б – в случае, когда степень проницаемости среды последовательно затухает от поверхности на глубину,

В – при наличии тектонического нарушения и последовательном уменьшении степени проницаемости в обе стороны от него,

Г – при наличии контакта между более и менее трещиноватой породами

1. Линия тектонического нарушения; 2. Линия контакта; 3. Трещиноватость; 4. Тензорная ось анизотропии; 5. Векторная ось анизотропии; 6. Направление и интенсивность циркуляции воды

С позиции геокинематики все генетические факторы, определявшие формирование К.В., можно разделить на три группы:

1. Общие для всех кор выветривания факторы.
2. Частные факторы, действовавшие в рамках кор выветривания отдельного типа и определившие отличие коры выветривания одного типа от коры выветривания другого типа.

3. Индивидуальные факторы, действовавшие в пределах одной конкретной К.В., обусловившие отличие данной конкретной К.В. от другой того же типа.

С позиции обобщенного подхода к геокинематике К.В. интерес представляют геометрия общих, для всех К.В., генетических факторов. Геометрия частных факторов заслуживает внимание при анализе специфики геометрии морфологии, строения и содержания отдельного типа К.В.

При анализе специфики геометрии генезиса отдельной конкретной К.В. интерес представляет геометрия индивидуальных генетических факторов, так как именно они определили индивидуальные особенности геометрии морфологии и строения конкретной К.В.

Окружающая среда оказывает непосредственное влияние на геометрию генезиса К.В. Общая геометрия строения исходной окружающей среды была неодинакова в случае площадной и линейной К.В. (рис. 3). Как правило, в случае площадной К.В. исходная окружающая среда представляла собой однородный как на поверхности, так и на глубине, по своим минералогическим, физическим и химическим показателям, массив горной породы. С позиции геокинематики строение такого массива имело симметрию сферы.

У линейных К.В. картина с геометрией окружающей среды оказывалась иной. Как правило, линейная К.В. возникает при наличии тектонического нарушения или на контакте двух разнородностей горных пород при моноклиномальном их залегании (рис. 3В, Г).

При наличии субвертикального тектонического нарушения в однородном массиве горной породы в зоне нарушения наблюдается последовательное затухание разрушения породы в обе стороны от плоскости нарушения (рис. 3В). Геометрия подобной зоны проницания окружающей среды описывается тензорной осью анизотропией, ориентированной нормально к плоскости нарушения, имеющей симметрию цилиндра [1]. При моноклиномальном залегании двух пород зона проницаемости также располагается вдоль плоскости контакта, но в отличие от предыдущего случая оказывается асимметричной по своему строению (рис. 3Г).

Очевидно, что циркуляция водных растворов в процессе формирования К.В. происходила одновременно в двух взаимоперпендикулярных направлениях. Основная их масса под действием силы тяжести двигалась сверху вниз от поверхности К.В. к ее нижней границе. При этом наблюдалось последовательное уменьшение количества водных растворов и интенсивности их циркуляции с глубиной от максимума в верхней части разреза К.В. до минимума в нижней, до полного отсутствия у нижней границы К.В.

Одновременно происходила инфильтрация относительно небольшой части растворов во все стороны в горизонтальном направлении. Здесь также имело место последовательное уменьшение количества инфильтрующихся растворов с глубиной.

Геометрически подобный характер циркуляции можно представить в виде островершинного конуса, направленного вниз. Высота конуса a_1 (рис. 4) показывает общее количество растворов двигавшихся сверху вниз. Высота отдельных сечений конуса a_2 и a_3 (рис. 4) характеризует количество растворов циркулировавших в разрезах К.В. на уровне данных сечений конуса.

Диаметр основания конуса B_1 (рис. 4) характеризует количество растворов, двигавшихся в горизонтальном направлении. А диаметры сечений конуса B_2 и B_3 показывают относительное количество растворов, инфильтрировавшихся в разрезе К.В. на уровне данных сечений конуса.

Подобная геометрическая модель циркуляции водных растворов в окружающей среде в процессе образования К.В. представляет собой идеальный случай. Понятно, что в реальных условиях циркуляция растворов будет отличаться от идеальной в связи с особенностями проницаемости разных горизонтов в разрезе К.В. Тем не менее, можно утверждать, что она будет носить в общем конусовидную форму, отражая тем самым общее последовательное уменьшение с глубиной количества растворов и степени интенсивности их циркуляции.

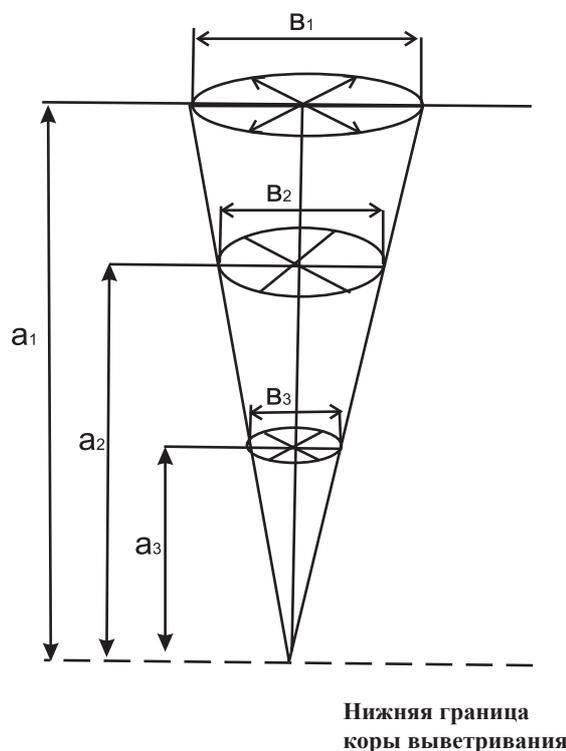


Рис. 4. Соотношение количества водных растворов, циркулировавших в вертикальном и горизонтальном направлениях:

a_1, a_2, a_3 – количество растворов, циркулировавших вертикально на разных уровнях разреза К.В. B_1, B_2, B_3 – количество растворов, циркулировавших радиально в горизонтальном направлении на разных уровнях разреза К.В.

С позиции симметрии подобная геометрия циркуляции растворов в окружающей среде может быть выражена полярным вектором, имеющим симметрию конуса ($L_{\infty} \cdot \infty P$). Согласно закону геокинематики [1, 2] общая геометрия генезиса геологического объекта является результирующей положения отдельных геометрий, генетических факторов друг на друга. При этом у геометрии генезиса сохраняются только те элементы симметрии, которые оказываются общими для симметрий всех геометрий генетических факторов. Из данного закона вытекает, что наибольшее влияние на геометрию генезиса оказывают генетические факторы, обладающие наименьшей симметрией.

Возможны четыре варианта общей геометрии генезиса К.В. Подчеркнем общей, а не частной и тем более индивидуальной.

Вариант первый (см. рис. 3А) – геометрии окружающей среды имеют симметрию сферы, а геометрия циркуляции воды – симметрию конуса. В этом случае геометрия генезиса имеет симметрию вертикально вниз ориентированного конуса, указывающего одновременно и на последовательное затухание циркуляции воды по вертикали от поверхности к подошве К.В.

Вариант второй (см. рис. 3Б) – геометрии окружающей среды и циркуляции воды имеют симметрию конуса, причем при этом ориентировка того и другого конуса совпадают, т.е. оказываются направленными вертикально вниз. И в этом случае, так же как и в первом варианте, геометрия генезиса имеет симметрию конуса. Отличие заключается в том, что К.В. данного генезиса оказываются большей мощности и имеют полный, по количеству зон, отчетливо выраженный профиль.

Вариант третий (см. рис. 3В), возникающий при наличии субвертикальной тектонической зоны. Здесь симметрия геометрии окружающей среды определяется симметрией зоны проницания образованной в ней тектоническим нарушением. Геометрия анизотропии зоны проницаемости описывается тензором, ориентированным нормально к плоскости нарушения. Симметрия геометрии циркуляции воды и здесь соответствует вертикально ориентированному конусу. Таким образом, геометрия генезиса представляет собой сочетание тензора (окружающая среда) и вектора (циркуляция),

геометрически это фигура, состоящая из цилиндра и вертикального конуса. Данная фигура имеет симметрию, состоящую из одной вертикальной оси симметрии второго порядка (L_2) и двух вертикальных взаимоперпендикулярных плоскостей симметрии (P_1, P_2). Эта симметрия наглядно выражает симметрию третьего варианта геометрии генезиса К.В. (см. рис. 3В).

Вариант четвертый (рис. 3Г) возникает при выходе на дневную поверхность двух разных по проницаемости моноклинально залегающих толщ пород. В этом случае на контакте возникает параллельно контакту зона проницаемости. Особенностью этой зоны является последовательное затухание ее проницаемости в сторону от контакта. Геометрически это вектор, направленный в сторону от контакта (см. рис. 3Г), имеющий симметрию конуса. В более устойчивой породе подобная зона проницаемости развита значительно слабее в связи с большей устойчивостью породы к выветриванию. Таким образом, в этом случае геометрия окружающей среды представляет собой вектор, имеющий симметрию конуса, ориентированный перпендикулярно контакту пород и направленный в сторону более менее устойчивой породы. На это накладывается вектор, характеризующий геометрию циркуляции воды. В результате геометрия генезиса представляет собой как бы геометрическую фигуру, состоящую из двух конусов, ориентированных под разными углами друг к другу. Если линия контакта вертикальная, то конусы оказываются ориентированными перпендикулярно друг другу. Если плоскость контакта залегает наклонно, то угол между линиями высот конусов соответствует углу падения пород. Подобное сочетание геометрий окружающей среды с геометрией циркуляции воды существенно уменьшает симметрию геометрии генезиса, оставляя у нее только одну вертикально ориентированную плоскость симметрии (P), проходящую через оси симметрии бесконечного порядка двух конусов, геометрии среды и циркуляции воды.

Рассмотренные четыре варианта геометрии генезиса К.В. хорошо согласуются с представлением И.И. Гинзбурга о «стадийном» или, по В.П. Петрову, о «реакционном» взаимоотношении между материн-

Таблица

Соотношение геометрий коры выветривания с геометрией ее генезиса

Вид коры выветривания	Геометрия формы	Геометрия строения анизотропии и симметрии	Геометрия генезиса
Площадная кора	Два геометрических элемента $H \gg M$	Двухосная анизотропия ($I_L < I_H \ll I_M$) с симметрией конуса $L_{\infty} \cdot \infty P$	Симметрия конуса $L_{\infty} \cdot \infty P$
Линейная симметричная кора	Три геометрических элемента $L > H \gg M$	Трехосная анизотропия с симметрией $2L_2 \cdot 2P$	Симметрия «прямоугольника» $2L_2 \cdot 2P$
Линейная асимметричная кора	Три геометрических элемента $L > H \gg M$	Трехосная анизотропия с симметрией, равной P	Симметрия, равная P

ской породой, окружающей среды, и действующими растворами [3, 9, 10]. Действительно, совершенно очевидно, что в процессе вертикальной циркуляции растворов происходило изменение их химического состава на разных горизонтах от поверхности.

На частном и индивидуальном уровне К.В. проявляются частные и индивидуальные генетические факторы, которые в какой-то мере затушевывают действие общих генетических факторов, придавая отдельным типам и отдельным К.В. индивидуальные черты.

В таблице показаны геометрии форм и строения К.В., а также геометрии генезиса К.В., на общем уровне. Из текста статьи и анализа таблицы можно сделать заключение, что в случае геологических объектов, именуемых К.В., также действует закон геокинематики, говорящий о том, что геометрия генезиса геологического объекта определяет его геометрию (морфологию и строение) [2], в основе которого лежит фундаментальный «принцип симметрии» П. Кюри [6, 7]. Кратко его можно сформулировать следующим образом: симметрия причин находит свое выражение в симметрии следствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Четвериков, Л.И.* Геокинематика / Л.И. Четвериков // Отечественная геология. – М. – 1993. – № 7. – С. 86–89.
2. *Четвериков, Л.И.* Основы геокинематики / Л.И. Четвериков // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2004. – 120 с.
3. *Петров, В.П.* Основы учения о древних корях выветривания / В.П. Петров. – М. : Недра, 1967. – 343 с.
4. *Четвериков, Л.И.* Геометрические элементы тел полезных ископаемых / Л.И. Четвериков // Сов. геология. – 1963. – № 2. – С. 118–129.
5. *Геологический словарь.* – М. : 1973. – Т. 1–2.
6. *Горная энциклопедия.* – М. : 1983. – Т. 3.
7. *Кюри, П.* Избранные труды / П. Кюри. – М. : Наука, 1960. – 400 с.
8. *Шубников, А.В.* О работах П. Кюри в области симметрии / А.В. Шубников // Успехи физических наук. – 1956. – Т. IX, вып. 4. – С. 541–602.
9. *Гинзбург, И.И.* Стадийное выветривание минералов / И.И. Гинзбург // Вопр. минер., геохим. и петрогр., – М.–Л., 1946. – С. 122–132.
10. *Гинзбург, И.И.* Типы древних кор выветривания, формы их проявления и классификация. – «Кора выветривания» / И.И. Гинзбург. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – Вып. 6.