

ДИСКУССИИ

УДК 910.1

DOI: 10.15372/GIPR20250314

И.П. БАРАНОВ

Институт биологического приборостроения РАН,
142290, Пушкино, ул. Институтская, 7, Россия, georeolog@gmail.com

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ
ЛИТОДИНАМИЧЕСКОГО КАРКАСА ЗЕМНОЙ КОРЫ

Представлен способ расчета векторов распределения геологических масс с использованием технологии «Пластика рельефа» и авторского метода определения потенциала литодинамических потоков, структур и систем. За основу взяты длины потоков-векторов и углы их отклонения. Все результаты переведены в метрическую систему. Способ был апробирован на двух литодинамических структурах, расположенных в Индии (долина р. Брахмапутры) и России (Крымские горы). Вычисления показали, что векторы геологических масс обеих структур распределены так, что их разность стремится к нулю, а значит — и к равновесию. Таким образом, в литосфере одновременно происходят процессы уравнивания масс и в вертикальном, и в горизонтальном направлениях. Помимо этого было установлено, что отделившееся от основной массы горной структуры оползневое тело ставит под угрозу общее равновесное состояние всей структуры, которое может быть восстановлено появлением нового оползня. Данная работа может быть использована как на начальном этапе познания равновесия в горизонтальной плоскости, так и на практике. Ряд примеров, приведенных в статье и полученных за рамками исследования, позволил предположить, что, наряду с электромагнитным полем и гравитацией, принцип динамического равновесия присутствует в природе повсеместно, в данном случае — в литосфере. Это естественное состояние вещества. Использование человеком данных знаний позволит учитывать и контролировать не только процессы в литосфере, но и хозяйственную деятельность: в территориальном планировании, строительстве, рекреации, для предотвращения чрезвычайных ситуаций и др.

Ключевые слова: изостазия, гидростатическое равновесие, вертикальное равновесие, горизонтальное равновесие, пластика рельефа.

I.P. BARANOV

Institute of Biological Instrumentation, Russian Academy of Sciences,
142290, Pushchino, ul. Institutskaya, 7, Russia, georeolog@gmail.com

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE SPATIAL-HORIZONTAL EQUILIBRIUM
OF THE LITHODYNAMIC FRAMEWORK OF THE EARTH'S CRUST

The article presents a method for calculating the vectors of geological mass distribution using the "Relief Plasticity" technology and the author's method for determining the potential of lithodynamic flows, structures and systems. The lengths of flow-vectors and their deflection angles are taken as a basis. All results have been converted to the metric system. The method was tested on two lithodynamic structures located in India (the Brahmaputra River valley) and Russia (the Crimean Mountains). Calculations have shown that the vectors of the geological masses of both structures are distributed in such a way that their difference tends to zero, and therefore to equilibrium. Thus, in the lithosphere, the processes of mass equilibration occur simultaneously in both vertical and horizontal directions. In addition, it has been found that a landslide body separated from the main mass of the mountain structure threatens the overall equilibrium state of the entire structure, which can be restored by the appearance of a new landslide. This work can be used both at the initial stage of understanding equilibrium in the horizontal plane and in practice. A number of examples given in the article and obtained outside the scope of the study suggested that, along with the electromagnetic field and gravity, the principle of dynamic equilibrium is present everywhere in nature, in this case, in the

lithosphere. This is a natural state of matter. The use of this knowledge by a person will allow taking into account and controlling not only the processes in the lithosphere, but also economic activities: in territorial planning, construction, recreation, emergency prevention, etc.

Keywords: *isostasy, hydrostatic equilibrium, vertical equilibrium, horizontal equilibrium, relief plasticity.*

ВВЕДЕНИЕ

В науке под равновесием понимается состояние, в котором находится какое-либо тело или система под воздействием равных, противоположно направленных и потому взаимно уничтожающихся сил. Самые известные проявления равновесия в космосе — отношения между Солнцем и планетами (в том числе Солнце—Земля). В физике различают три вида равновесия — устойчивое, неустойчивое, безразличное (правило равновесия рычага). В математике существуют уравнения и системы уравнений; в механике — правило моментов; в химии — щелочно-кислотное и окислительно-восстановительное равновесие (отношения вода—минерал). В природе — равновесие между поверхностями различной степени получения солнечной радиации; областями разного атмосферного давления; круговорот воды в природе. В биосфере равновесие проявляется в стабильности, саморегуляции и самоочищении; в биологическом круговороте веществ; в стабильности экосистем через видовое разнообразие; в гомеостазе как состоянии динамического равновесия природной системы.

В геологии есть понятие «изостазия» (литостатическое или изостатическое равновесие), которое означает стремление земной коры к достижению гидростатического равновесия [1] — равновесному состоянию земной коры, при котором менее плотная земная кора (средняя плотность $2,8 \text{ г/см}^3$) лежит на более плотном ($3,3 \text{ г/см}^3$) и относительно ослабленном по реологическим характеристикам астеносферном слое верхней мантии. Суть теории изостазии состоит в предположении, что вертикальные блоки, оказывая давление на массы, расположенные под ними, образуют поверхность равного давления, глубина залегания которой зависит от формы земного рельефа [2, 3]. Поэтому изостазия отражает только вертикальные отношения гравитационных сил. В настоящий момент в науке господствуют теории Пратта, Эри и Веннинг-Мейенса [4, 5].

Большинство регионов Земли находится в состоянии, близком к изостатическому равновесию. Нарушенное равновесие восстанавливается очень быстро, части литосферы то опускаются, то всплывают [6]. Однако все модели изостазии описывают только предельный случай, когда кора и мантия находятся в статическом равновесии, хотя Земля представляет собой динамическую систему, которая реагирует на нагрузки по-разному [7]. Идеальное же изостатическое равновесие возможно только в том случае, если материал мантии находится в состоянии покоя, что таковым не является на длительном промежутке времени. Модели изостазии рассматривают только крупные, сейсмически устойчивые блоки площадью в тысячи километров. Молодые области горообразования, для которых характерна сейсмическая активность (например, Гималаи), не находятся в изостатическом равновесии и потому плохо описываются изостатическими моделями [6, 8].

Можно ли определить равновесие форм рельефа (как исходного каркаса любого ландшафта) в горизонтальной плоскости и как это сделать, если в общенаучной практике рельеф — совокупность форм земной поверхности, а в некой массе, нагромождении форм сложно выделить их границы? Даже если получится определить равновесие форм рельефа, то все измерения снова будут апеллировать к изостазии, т. е. вертикальному соотношению гравитационных сил.

Наука о рельефе — геоморфология — начиная со своего становления была математизирована. Поэтому неслучайно в ней родились цифровые методы анализа земной поверхности, в том числе и те, которые позволяют рассматривать связи изостатического равновесия, разнонаправленных неотектонических движений земной коры и экзогенных процессов, выраженные в топографии рельефа. Так, для создания карт и схем неотектонических движений используется морфометрический метод анализа цифровых моделей рельефа, впервые предложенный С.С. Соболевым, позднее развитый В.П. Философовым [9], А.Н. Ласточкиным [10], Ю.Г. Симоновым [11] и др. Все морфометрические методы основаны на предположении о том, что движения земной коры, взаимодействуя с экзогенными процессами, преодолевают их выравнивающую деятельность и находят свое отражение в современном рельефе и характере речной сети [12]. Тем самым они отражают поэтапное (временное) расположение сил равновесия, которые оставили о себе память в виде постоянно меняющегося рельефа земной поверхности.

Для того чтобы четко определить горизонтальное равновесие внутри отдельных форм рельефа, требовался принципиально иной подход, который бы позволил дифференцированно рассматривать формы рельефа в горизонтальном пространстве. В этом случае каждый элемент рельефа можно будет

измерить. В науке такой подход есть — концепция «Пластика рельефа». В данной работе будут использованы технология «Пластика рельефа», авторский метод расчета потенциала литодинамических потоков, структур и систем.

В 2004 г. автором было сделано предположение [13], что литодинамические структуры и системы, выявленные по технологии «Пластика рельефа», являясь основой, каркасом ландшафтных геосистем, стремятся к равновесию. К настоящему моменту нами разработаны правила расчета потенциала как каждого элемента, так и всей литодинамической структуры или системы. В качестве примера были взяты обособленные литодинамические потоковые структуры и системы, расположенные в России и Индии. Территории были подобраны с учетом расчлененности рельефа и его превышением над уровнем моря. Рельеф этих территорий низменный и горный.

Целью работы является доказательство или опровержение стремления к равновесию природных литодинамических структур и систем, отображенных на картах пластики рельефа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основе метода определения горизонтального равновесия отдельных форм рельефа используется авторский способ расчета потенциала каждого из литодинамических потоков, структур и систем. Если принять за основу одно из правил концепции «Пластика рельефа» [14, 15], утверждающее, что вся земная поверхность дифференцирована и представляет собой взаимодействие двух систем — относительных повышений и понижений, то принцип нового способа будет показан на условной литодинамической структуре — повышении.

В физике, химии и экологии допускается, постулируется, что в природе все находится в равновесии или стремится к нему. Аналогично можно предположить, что в географии и геоморфологии есть свои объекты равновесия, примером которых являются литодинамические структуры и системы карт пластики рельефа.

Возьмем условную литодинамическую структуру (рис. 1), на которой будут нанесены точки нулевой и максимальной положительной кривизны; центральный поток примем за нулевой, а его ось назовем 0–0'. Пронумеровываем каждую из точек максимальной положительной кривизны на правом и левом литодинамических потоках. Проводим луч из точки 0 в направлении точки 1; поскольку луч имеет отклонение вправо от оси 0–0', то условно примем цвет отрезка 0–1 красным. Измеряем угол между осью 0–0' и лучом 0–1 на «правом» потоке; определяем расстояние между точкой 0 и 1 (относительные данные измерений вносим в табл. 1). Проводим луч из точки 1 в направлении точки 2; так как луч имеет отклонение влево от луча 1–2, то условно примем цвет отрезка 1–2 синим. Измеряем угол между осью и лучами 0–1 и 1–2; определяем расстояние между точкой 1 и 2 (относительные данные измерений вносим в табл. 1). Аналогично измеряем углы и расстояния для лучей 2–3, 3–4 и 4–5 (относительные данные измерений вносим в табл. 1); поскольку у каждого из них отклонение влево относительно друг друга, то цвет отрезков синий. Те же самые операции проводим и для отрезков левого потока.

Определение длин отрезков и углов отклонения позволили измерить литодинамическую структуру, но для того чтобы перевести единицы измерения в об-

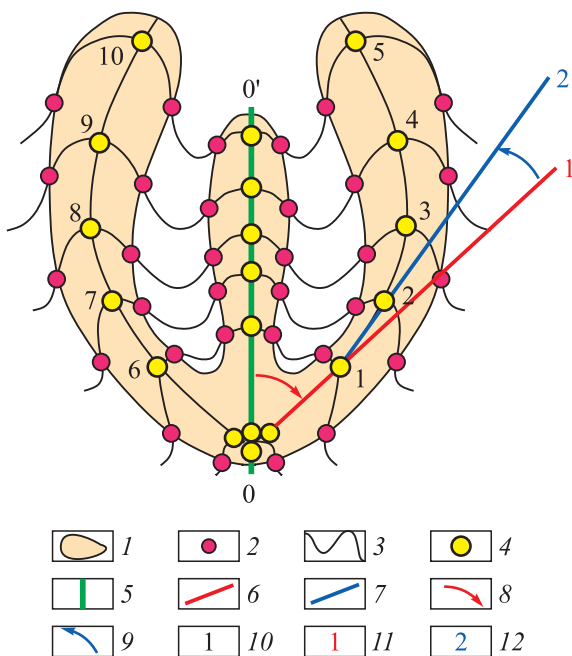


Рис. 1. Модель проведения измерений углов отклонения и длин отрезков литодинамической структуры.

1 — литодинамическая структура; 2 — точки нулевой кривизны; 3 — морфоизографа; 4 — точки максимальной положительной кривизны; 5 — ось 0–0'; 6 — лучи-отрезки правого отклонения; 7 — лучи-отрезки левого отклонения; 8 — угол луча-отрезка правого отклонения; 9 — угол луча-отрезка левого отклонения; 10 — номера точек; 11 — номера лучей-отрезков правого отклонения; 12 — номера лучей-отрезков левого отклонения.

Таблица 1

Данные измерений углов и длин потоков-отрезков структуры образцовой модели

Номер отрезка	Правое (+) и левое (–) отклонения потока	Длина, усл. см (округлено до десятых)	Угол, град. (целые числа)	Косинус угла, радианы (округлено до сотых)	Длина × cos угла, усл. см (округлено до десятых)
0–1	+	X1	+α1	+cos α1	+X1 × cos α1
1–2	–	X2	–α2	–cos α2	–X2 × cos α2
2–3	–	X3	–α3	–cos α3	–X3 × cos α3
3–4	–	X4	–α4	–cos α4	–X4 × cos α4
4–5	–	X5	–α5	–cos α5	–X5 × cos α5
0–6	–	X6	–α6	–cos α6	–X6 × cos α6
6–7	+	X7	+α7	+cos α7	+X7 × cos α7
7–8	+	X8	+α8	+cos α8	+X8 × cos α8
8–9	+	X9	+α9	+cos α9	+X9 × cos α9
9–10	+	X10	+α10	+cos α10	+X10 × cos α10
Сумма					≈ 0

щую плоскость, был использован математический способ перевода градусной меры в радианы. Поскольку измерялись углы отклонения между соседними отрезками (лучами), один из которых мог быть гипотенузой, а второй катетом, прилежащим к гипотенузе, то в таблице Брадиса углы соответствуют разделу «Косинусы».

Перемножив косинус каждого взятого угла на длины соответствующих отрезков, получаем набор чисел, имеющих, в зависимости от угла отклонения относительно предшествующего нулевого отрезка, определенный знак. Отрезки с отклонением вправо имеют положительный знак «+»; отрезки с отклонением влево — отрицательный знак «–» (см. табл. 1). В дальнейшем параметры измерений правых и левых отрезков суммируются, а результат должен показать, будет ли найдено равновесие (или близкое к нему значение) в данной структуре или нет.

Так как в процессе разработки метода выявления горизонтального равновесия литодинамического каркаса земной коры были использованы карты пластики рельефа, то и сама технология «Пластика рельефа» проходит проверку своей состоятельности в решении научных и хозяйственных задач, подвергается математической верификации. Все это можно проверить только опытным путем. Для этого были выбраны две литодинамические структуры, обособленно расположенные в пределах крупной литодинамической системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Участок 1. Первой была выбрана структура, расположенная в заболоченной низменности — в долине р. Брахмапутры (Индия). Как видно из данных рис. 2, на карте нет ни одной горизонтали. Литодинамическая структура была визуализирована с помощью особого подхода технологии «Пластика рельефа», при котором за основу берется конфигурация местной гидросети, заболоченные площади (выделенные топографами и гидрологами). Данная особенность, с одной стороны, может стать препятствием к получению объективных данных расчетов горизонтального равновесия, с другой — верифицирует саму методику «Пластика рельефа» и строящиеся на ней расчеты горизонтального равновесия. Точкой отсчета является вершина холма — репеллер структуры. Исходная область выражена линейно отрезком 0'–3. Разница между суммами условных «положительных» (984,2) и «отрицательных» (984) отрезков-потоков составляет 0,2 (табл. 2). Следует отметить, что в пределах первой структуры уклон местности незначительный. Активных современных тектонических процессов не наблюдается. Преобладает аккумуляция аллювиальных и других осадочных отложений.

Исходя из данных табл. 2, можно сделать вывод, что наиболее ярко проявляется фактор отклонения угла от исходного отрезка. При небольшом отклонении одного отрезка относительно другого косинус угла между ними составляет значительную величину. Поэтому даже при большей длине отрезков, но большем угле отклонения произведение длины отрезка на косинус угла может пропорционально уступать произведению длины на косинус угла отрезка, имеющего меньшую в несколько раз длину отрезка, но меньший угол отклонения. Например, длина отрезка 8–9 составляет 89,6 усл. ед., что значительно (в 1,6 раза) больше длины отрезка 9–10, длина которого равна 54,4. Однако угол



Рис. 2. Литодинамическая структура 1, расположенная в заболоченной низменности — в долине р. Брахмапутры (Индия).

1 — структура 1; 2, 3 — соседние литодинамические структуры; 4 — нулевая ось; 5 — потоки-отрезки с отклонением вправо; 6 — потоки-отрезки с отклонением влево; 7 — узловые точки (поворотные и бифуркационные).

отклонения отрезка 8–9 равен 79° , а угол отклонения отрезка 9–10 — 26° , поэтому произведение длины на угол отрезка 9–10 больше аналогичного произведения для отрезка 8–9 почти в три раза (49 и 17). Это говорит о том, что для автобаланса литодинамической структуре достаточно небольшого угла отклонения.

Важно отметить, что, несмотря на отсутствие горизонталей, используя только косвенные признаки проявления рельефа (конфигурацию местной гидросети, заболоченные площади), удалось с высокой точностью составить модель литодинамической структуры 1. Таким образом, метод определения пространственно-горизонтального равновесия литодинамического каркаса земной коры верифицирует технологию «Пластика рельефа», подтверждая ее правильность в отображении природных геологических образований и протекающих в них процессах.

Таблица 2

Данные измерений углов и длин потоков-отрезков структуры 1

Номер отрезка	Правое (+) и левое (–) отклонения потока	Длина, усл. см (округлено до десятых)	Угол, град. (целые числа)	Косинус угла, радианы (округлено до сотых)	Длина × cos угла, усл. см (округлено до десятых)
0–1	+	180,0	+45	0,71	+127,8
1–2	–	83,0	–30	0,87	–72,2
3–4	+	130,4	+60	0,50	+65,2
3–5	+	204,5	+29	0,87	+177,9
3–6	–	68,6	–33	0,84	–57,6
6–7	+	249,9	+30	0,87	+217,4
7–8	–	120,4	–22	0,93	–112,0
8–9	–	89,6	–79	0,19	–17,0
9–10	–	54,4	–26	0,90	–49,0
7–11	–	138,2	–58	0,53	–73,2
11–12	–	35,7	–14	0,97	–34,6
0–14	–	332,3	–63	0,45	–149,5
13–15	+	174,9	+42	0,74	+129,4
15–16	–	103,6	–58	0,53	–54,9
15–17	–	85,0	–23	0,92	–78,2
17–19	–	96,1	–3	0,99	–95,1
17–18	–	58,6	–32	0,85	–49,8
17–20	+	142,7	+32	0,85	+121,3
15–21	+	165,0	+28	0,88	+145,2
21–22	–	79,6	–56	0,56	–44,6
21–23	–	66,1	–11	0,98	–64,8
23–24	–	49,2	–50	0,64	–31,5
		Разность 984,2–984,0			0,2

Участок 2. Вторая структура расположена в пределах горной системы: гора Сокол, внутренняя гряда Крымских гор, н. п. Новый Свет (Республика Крым, Россия). Данная структура еще сложнее по составу — 43 потока-отрезка (табл. 3, рис. 3). Расположена она в пределах тектонически активной Судакско-Карадагской складчатой системы. Высота горы — 473 м, длина — 1200 м, ширина — от 800

Таблица 3

Данные измерений углов и длин потоков-отрезков участка 2

Номер отрезка	Правое (+) и левое (–) отклонения потока	Длина, усл. см (округлено до десятых)	Угол, град. (целые числа)	Косинус угла, радианы (округлено до сотых)	Длина × cos угла, усл. см (округлено до десятых)
0–8	+	253,7	+13	0,97	+246,1
0–9	+	161,7	+35	0,82	+132,6
9–10	–	160,7	–11	0,98	–157,5
0–1	–	121,2	–20	0,94	–113,9
1–2	+	100,3	+25	0,91	+91,3
2–3	–	110,2	–26	0,90	–99,2
2–4	–	71,0	–85	0,09	–6,4
4–5	–	79,5	–40	0,77	–61,2
1–6	–	113,5	–55	0,57	–64,7
6–7	–	87,7	–47	0,68	–59,6
0–21	+	298,0	+89	0,02	+5,9
11–12	–	124,7	–77	0,23	–28,7
12–13	+	69,2	+26	0,9	+62,3
11–14	–	130,2	–27	0,89	–115,9
14–15	–	121,0	–61	0,48	–58,1
15–16	–	81,0	–30	0,87	–70,5
14–17	+	72,5	+75	0,26	+18,9
17–18	–	153,2	–77	0,23	–35,2
17–19	+	132,4	+38	0,79	+104,6
19–20	+	105,6	+43	0,73	+77,1
21–23	+	112,5	+43	0,73	+82,1
21–22	+	169,9	+84	0,10	+17,0
22–24	–	233,0	–43	0,73	–170,1
24–25	+	76,8	+30	0,87	+66,8
25–26	+	244,3	+33	0,84	+205,2
0–27	–	160,3	–33	0,84	–134,7
27–28	+	308,8	+37	0,80	+247
27–29	–	106,5	–42	0,74	–78,8
29–30	+	68,8	+34	0,83	+57,1
29–33	+	103,1	+72	0,31	+32,0
30–31	+	129,5	+41	0,75	+97,1
31–32	+	90,8	+21	0,93	+84,4
32–41	–	226,9	–46	0,69	–156,6
34–35	–	97,5	–25	0,91	–88,7
35–36	–	115,5	–46	0,69	–79,7
36–42	+	101,7	+42	0,74	+75,3
42–43	+	54,4	+27	0,89	+48,4
35–37	+	93,7	+38	0,79	+74,0
37–38	–	184,1	–73	0,29	–53,4
37–39	–	115,3	–15	0,97	–111,8
39–40	–	126,5	–77	0,23	–29,1
Разность числовых данных потоков в единой структуре: 1825,3 – 1773,8					+51,5
44–45	–	161	–19	0,95	–153,0
45–46	+	140,8	+44	0,72	+101,4
Разность числовых данных потоков в оползневой структуре: 101,4–153					–51,6
Итоговая разность числовых данных потоков в единой структуре, включая оползневую:					–0,1
51,5–51,6					

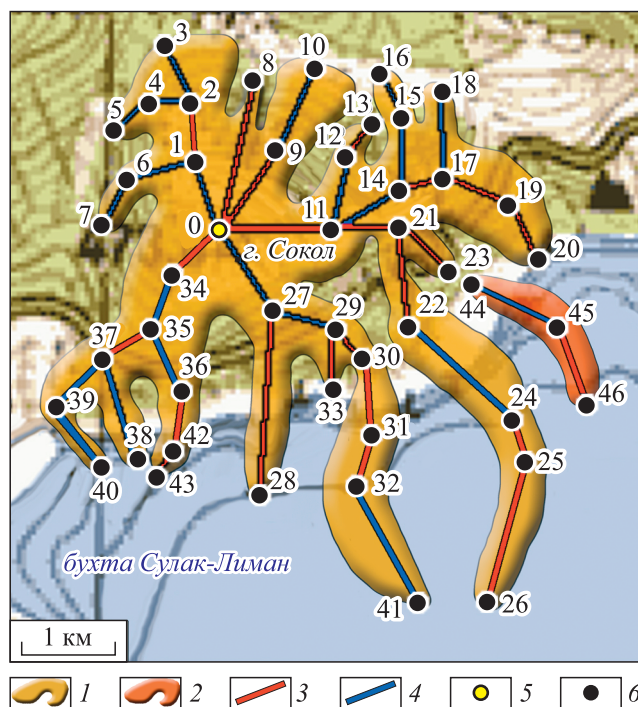


Рис. 3. Литодинамическая структура 2.

1 — структура 2; 2 — оползневое тело; 3 — потоки-отрезки с отклонением вправо; 4 — потоки-отрезки с отклонением влево; 5 — нулевая точка; 6 — узловые точки 1–46 (поворотные и бифуркационные).

до 1000 м. Участок непосредственно примыкает к берегу Черного моря и представляет собой крупнейший в окрестностях Судак рифовый массив мощностью 300–350 м, состоящий из остатков ископаемых организмов, таких как кораллы, губки, мшанки и выделявшие известь водоросли. Данный массив образовался 130–150 млн л. н., со временем пористый риф был преобразован в крепкий мраморовидный известняк. Шесть литодинамических потоков структуры имеют продолжение на дне моря. Еще один поток (точки 44–45–46) оторван от основной массы структуры, являясь, видимо, оползевым образованием.

Таблица 3 с данными измерений разделена на две части. В одну из них включены числовые данные потоков-отрезков единой литодинамической структуры.

Разность равна +51,5. Во второй части представлены числовые данные потоков-отрезков оползневой литодинамической структуры (точки 44–45–46). Разность равна –51,6. В свою очередь, разность между величинами 51,5 и 51,6 составила 0,1. Следовательно, оползневое тело, большей частью расположенное на шельфе моря, уже не является частью материнской структуры, но выполняет функции, поддерживающие равновесие в структуре. С другой стороны, если не учитывать роль оползневой структуры, которая со временем (через десятки, сотни или тысячи лет) «сползет» по склону еще дальше от коренной структуры, то следует ожидать проявления еще одного оползневоего тела, факт наличия которого снова уравновесит структуру. Таким телом может стать фрагмент потока, имеющего близкие к +51,5 числовые показатели и положительный угол отклонения. Самым вероятным «претендентом» является поток-отрезок 42–43, числовые показатели которого +48,4. Это достаточно небольшое по размерам тело потока, имеющее незначительный положительный угол отклонения, с показателем +48,4. К тому же полностью находится ниже уровня моря (см. рис. 3).

Подводя итоги по расчетам структуры 2, следует выделить еще большее число измерений (43) по сравнению с измерениями структуры 1 и общую сумму величин всех потоков — почти 4 тыс. При этом итоговая разность составляет 0,1. Таким образом, подтверждается очевидное: увеличение детализации объекта и числа расчетов ведет к уменьшению погрешности итогового результата.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье впервые дается описание определения равновесия геологических тел в плане. Для этого не нужны расчеты объема формы тела, плотности горных пород, их массы. Использование технологии «Пластика рельефа» позволило выявить геологические тела в виде потоков, структур и систем и произвести по ним измерения и вычисления длин отрезков, угла их отклонения в определенном направлении, перевод градусов в радианы и перемножение радиан на условную единицу длины. Это дает возможность установить в пределах изучаемых литодинамических структур следующие закономерности:

1. Все потоки-отрезки можно условно разделить на правые и левые.

2. На равнинных участках речных долин, болот и возвышенных территориях тектонически спокойных районов суммы параметров правых и левых потоков стремятся к нулю. Разница в 0,2 может быть отнесена к погрешностям в измерении. В демонстрационных целях значения углов округлялись до целого, длина — до десятых, косинусы — до сотых.

3. В горной, сейсмически активной области Крыма структура потеряла горизонтальную устойчивость в результате отделения тела потока, математические измерения которого подтверждают цельность структуры. В то же время был выделен фрагмент потока, который с большой вероятностью может в ближайшее время отделиться от основного тела в результате землетрясения небольшой мощности. Таким образом, предлагаемый метод позволяет с высокой точностью определить не только точку отсутствия равновесия, но и причину.

4. Установлены «нулевые» центры потоковых структур и систем. Для структуры 1 — точечный, для структуры 2 — линейный. В пределах линейных центров угол равен 0, их длина не берется в расчет. Для литодинамических потоковых структур и систем они являются «управляющими центрами».

5. Метод определения горизонтального равновесия совместно с технологией «Пластика рельефа» может быть использован как геологами — для обнаружения оползневых структур, так и ландшафтоведами и экологами — при изучении отдельных ландшафтов, их центров, динамики развития.

Работа выполнена в рамках государственного задания (122040800173–8 FMRM–2022–0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короновский Н.В. Изостазия // Соросовский образовательный журнал. — 2001. — № 11. — С. 73–78.
2. Утёмов Э.В. Гравиразведка: Уч.-метод. пособие. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2009. — 26 с.
3. Орленок В.В. Основы геофизики: Учеб. пособие. — Калининград: Янтарный сказ, 2000. — 446 с.
4. Маловичко А.К., Костицын В.И. Гравиразведка: Учеб. пособие. — М.: Недра, 1992. — 359 с.
5. Артемьев М.Е. Изостазия территории СССР. — М.: Наука, 1975. — 215 с.
6. Watts A.B. Isostasy and Flexure of the Lithosphere. — Cambridge: Cambridge University Press, 2001. — 458 p. — ISBN 0521622727
7. Monroe J.S. Physical Geology: Exploring the Earth. — St. Paul: West Publishing Co, 1992. — 305 p. — ISBN 0314921958
8. Kearey Ph., Klepeis K.A., Vine F.J. Global Tectonics. — 3rd ed. — Hoboken: John Wiley & Sons, 2009. — 496 p.
9. Философов В.П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. — Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1975. — 232 с.
10. Ласточкин А.Н. О неотектонических критериях нефтегазоносности // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. — 1971. — № 3. — С. 201–215.
11. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. — М.; Смоленск: Изд-во Смолен. гуманит. ун-та, 1998. — 270 с.
12. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Лунева О.В., Даутов А.Н. О связи неотектоники и современной геодинамики // Учен. зап. Казан. ун-та. География. Геология. — 2020. — Т. 6 (72), № 3. — С. 197–211.
13. Баранов И.П. Выявление равновесия природных систем на основе метода пластики рельефа // Материалы VIII Междунар. Пущинской школы-конференции молодых ученых (Пущино, 17–21 мая, 2004 г.). — Пущино: Изд-во Пущин. науч. центра РАН, 2004. — С. 169–170.
14. Степанов И.Н., Анисимов И.Г., Бордунов А.А., Деева Н.Ф., Камалов Л.Ф., Лопачев Н.А., Муратова В.С., Пейдо Л.П., Поветухина З.Ф., Степанов Г.Н., Ушакова Т.П., Хакимов Ф.И., Чембарисов Э.И. Методика составления серии среднемасштабных тематических карт «Природно-мелиоративная и сельскохозяйственная оценка Срединного региона СССР» // Материалы Всесоюз. конференции «Оценка природно-мелиоративных условий и прогноз их изменений». — Пущино: Изд-во Науч. центра биол. исслед. АН СССР, 1977. — С. 23–93.
15. Степанов И.Н. Теория пластики рельефа и новые тематические карты. — М.: Наука, 2006. — 230 с.

Поступила в редакцию 31.08.2024

После доработки 19.11.2024

Принята к публикации 21.05.2025