

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.4(571.1)

А. Н. ЛАСТОЧКИН, И. А. ОДЕССКИЙ

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГИПСОМЕТРИЧЕСКИХ ПРОФИЛЕЙ
С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОЛНООБРАЗНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ*(на примере Западно-Сибирской равнины)*

Среди различных типов тектонических движений к настоящему времени довольно уверенно выделяются вертикальные волнообразные перемещения земной коры, создающие сопряженные друг с другом синусоидально построенные зоны поднятий и опусканий (Хаин, 1964). Этот тип тектогенеза называли тангенциальными движениями (А. П. Карпинский), колебательными движениями геотектонического типа (М. М. Тетяев), ремагenezом (Р. Зондер), диктиогenezом (С. Н. Бубнов), волновыми (В. Е. Хаин) и волнообразно-колебательными рельефообразующими (Ю. А. Мещеряков) движениями. Созданные ими волнообразные деформации устанавливаются как при анализе древних фаций и структурных планов (Карпинский, 1947; Хаин, 1964 и др.), так и в результате исследований новейшей структуры и современного рельефа (Хаин, 1964; Мещеряков, 1962, 1965 и др.).

Наиболее отчетливо волнообразные деформации проявляются в молодом аккумулятивном рельефе платформенных равнин, так как в их пределах, в отличие от областей с древним денудационным рельефом, нет наложения разновозрастных волновых движений, и новейший структурный план представлен закономерно расположенными разновозрастными поднятиями и прогибами диагональной и ортогональной систем при явном преобладании последней. Именно поэтому впервые были обнаружены и закартированы выраженные в рельефе линейно вытянутые деформации на таких территориях, как север Русской платформы (Ламакин, 1945; Афанасьев, 1961 и др.), Западно-Сибирская плита (Сакс, 1953; Мещеряков, 1962, 1965 и др.), Скифская плита (Гниловский, 1956; Горелов, 1966 и др.) и Прикаспийская синеклиза (Эвентов и Проничева, 1967; Троцюк, 1967 и др.). Однако волнообразные деформации присущи не только этим территориям, но и платформенным равнинам с иным характером новейшей геологической истории, а также орогенным и современным геосинклинальным областям (Мещеряков, 1965).

Перед авторами статьи стояла задача доказать наличие волнообразных деформаций, выявить их характеристики и взаимное расположение путем гармонического анализа гипсометрических профилей в пределах северной и центральной частей Западно-Сибирской равнины, где развит молодой аккумулятивный рельеф, созданный в результате накопления мощной толщи морских и озерных осадков и последующей регрессии плиоцен-четвертичного (Ямальского) бассейна (Кузин, Чо-

чия, 1965). Построенные на крупномасштабной топографической основе гипсометрические профили располагались в соответствии с координатной сеткой: меридиональные — через 1° , широтные — через $20'$. Для математической обработки профилей последние были записаны в виде дискретных рядов чисел, представляющих собой абсолютные высоты, отстоящие друг от друга на расстоянии шага, равного $5'$. Такая величина шага выбрана с целью исключения влияния мелких морфоскульптурных элементов на строение гипсометрических профилей.

В качестве аппарата гармонического анализа использован метод обзора числовых совокупностей (Ханович и др., 1968). Метод обзора предусматривает расположение заданного набора чисел исследуемой совокупности $a_1, a_2, a_3, \dots, a$ в таблицы, содержащие m столбцов и p полных строк ($mp \leq n$ — ближайшее к n целое число, m изменяется от 2 до $E(\frac{n}{2})$). Затем в полученных таблицах числа суммируются по столбцам и для суммарного ряда определяется величина

$$\frac{\Delta S}{2} = \frac{1}{2p} (S_{\max} - S_{\min}),$$

где $S_{\max}$ и $S_{\min}$ — наибольшее и наименьшее значения в полученном суммарном ряду с числом членов, равным m . Далее для всех m строится график $\frac{\Delta S}{2} = f(m)$, называемый периодограммой.

Дальнейший анализ приведенной зависимости осуществляется следующим образом. Согласно приемам обработки числовых рядов методом обзора числовых совокупностей, максимальные значения на периодограммах, очевидно, соответствуют таким моментам, когда число столбцов в очередной таблице совпадает с периодом гармоник, содержащейся в анализируемом ряду. Поэтому дальнейшие операции сводятся к отысканию этих гармоник по соответствующим максимумам на периодограммах. Далее по таблицам, построенным для найденных максимумов, определяются положения $S_{\max}$ и $S_{\min}$ в суммарном ряду и подсчитываются частоты их появления на тех или иных местах. Таким образом, выявленный по периодограмме спектр периодичностей получает определенную вероятностную оценку.

Применительно к анализу гипсометрических профилей метод обзора числовых совокупностей позволяет выявить периодичность в площадном распределении линейных морфоструктур, установить местоположение поднятий и опусканий различного порядка и приближенно оценить средние амплитуды и ширину волнообразных деформаций.

Периодограммы, построенные по каждому гипсометрическому профилю, приведены на рис. 1. Для устранения случайных отклонений $\Delta S/2$ от общей направленности связи $\Delta S/2$ и m и с целью облегчения поисков главных максимумов было произведено сглаживание периодограмм по методу смены знака (Миллер, Кан, 1965). Основанием для сглаживания является сложный характер процесса рельефообразования, заключающийся в наложении на тектонические формы рельефа различных случайных элементов морфоскульптуры.

На периодограммах как для широтных, так и для меридиональных профилей выделяется серия максимумов, указывающих на наличие в периодических кривых (гипсометрических профилях) гармоник с определенными длинами волн. Совместный анализ периодограмм позволяет установить, что выделенные гармоники присутствуют почти во всех гипсометрических профилях (рис. 1), а последующее нанесение осей поднятий и прогибов разных систем на координатную сетку (рис. 2) обнаруживает полную преемственность этих гармоник, то есть высокую степень корреляции между гипсометрическими профилями широтного и меридионального простираций. Этот фактический материал убеждает в

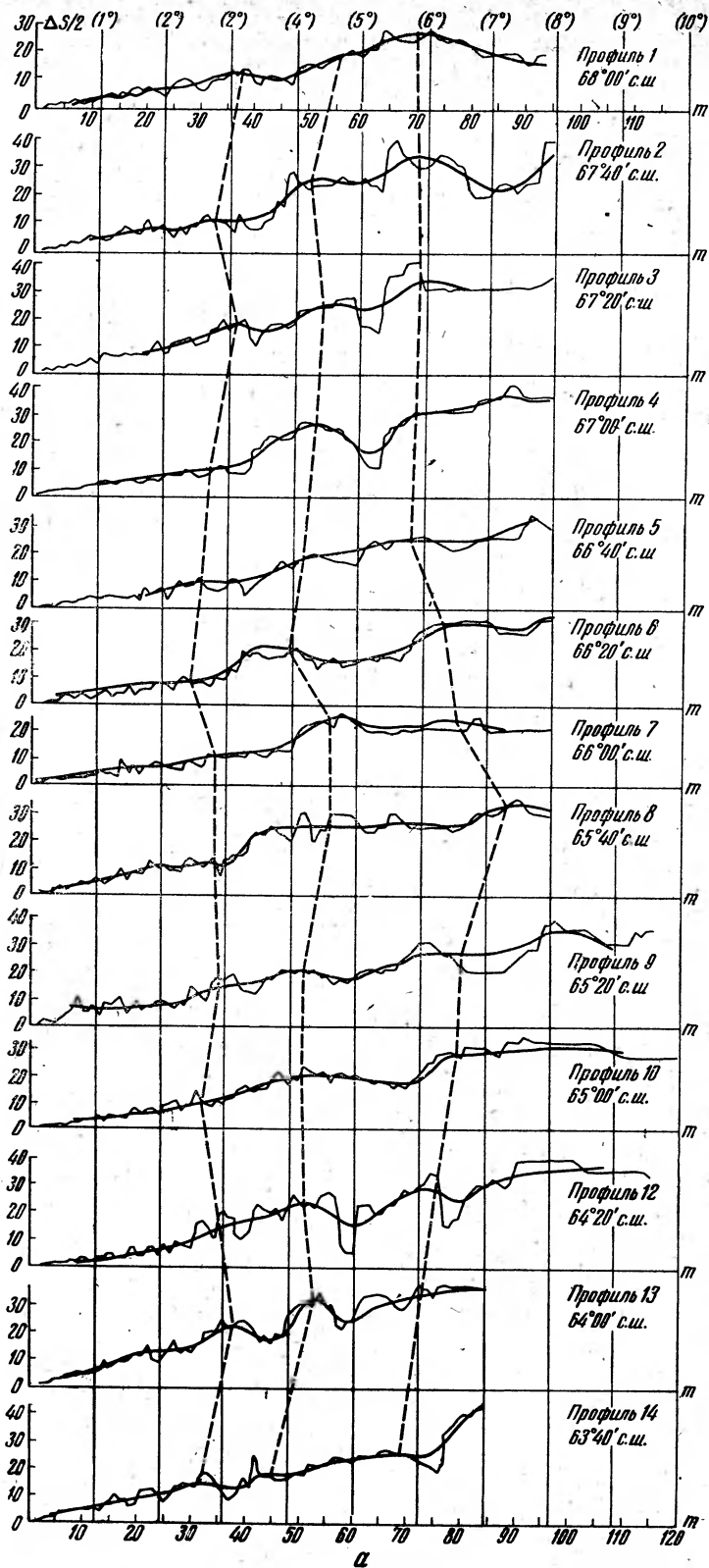
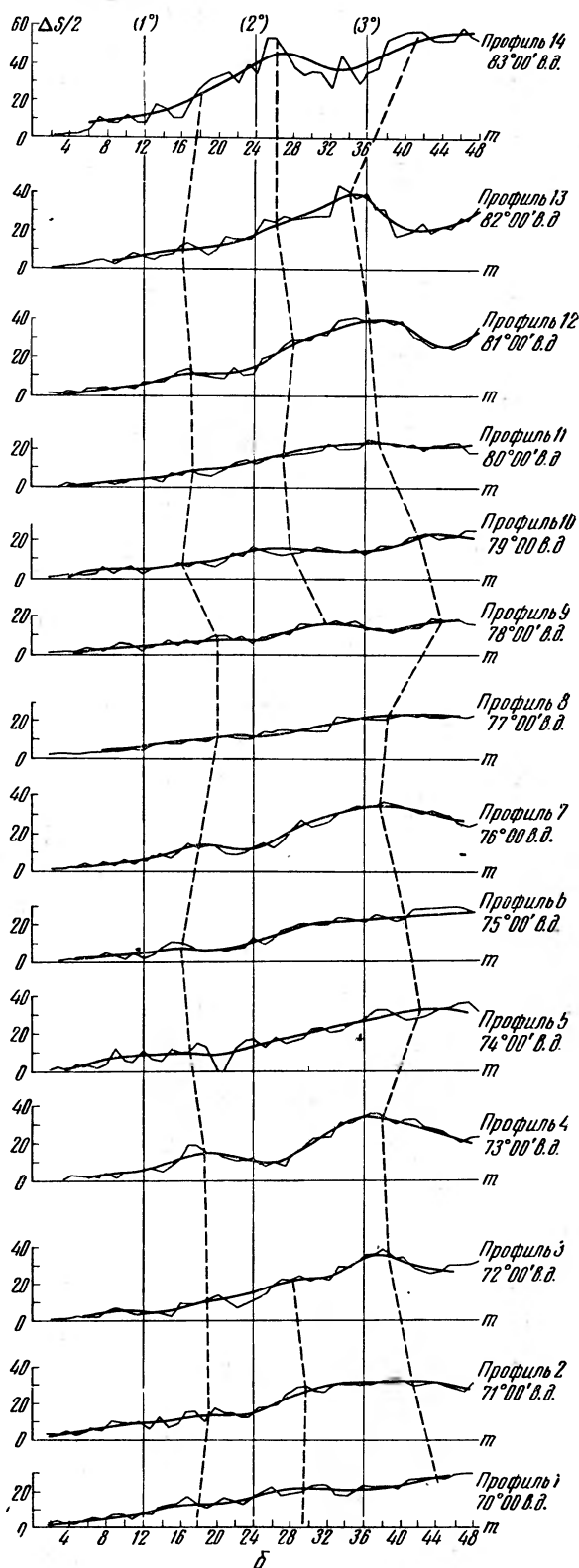


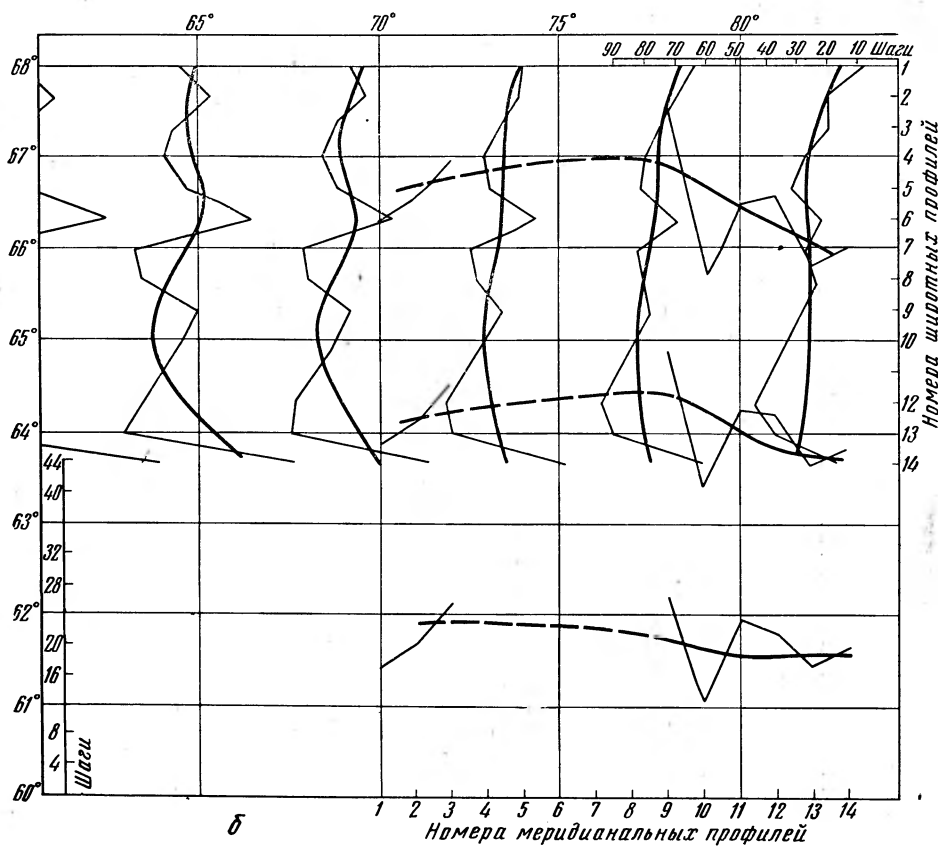
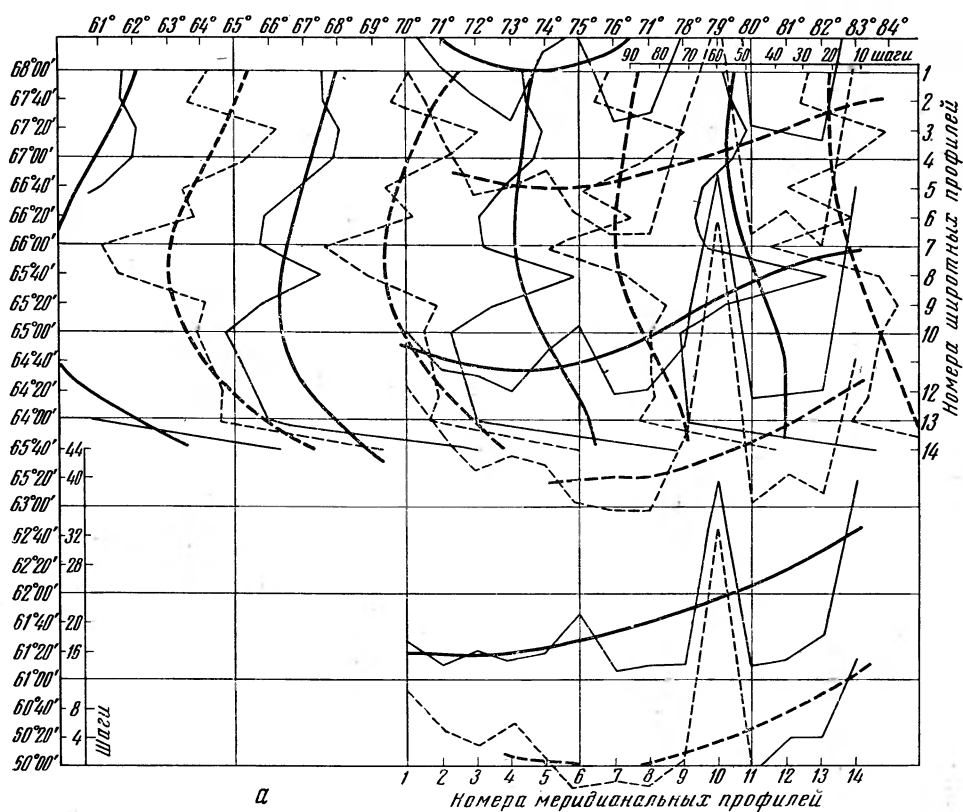
Рис. 1. Периодограммы по широтным (а) и меридиональным (б) гипсометрическим профилям

наличии волнообразных широтных и меридиональных деформаций, создающих (в результате взаимной интерференции) основные черты современной орогидрографии и определяющих, в частности, периодический характер строения гипсометрических профилей.

Гармоники, выделенные при анализе широтных профилей, характеризуют волнообразные деформации меридионального простирания и наоборот. Их периоды в переводе на градусную шкалу¹ представлены в табл. 1. Установленные гармоники, несмотря на относительно близкие значения их периодов, относятся к трем различным системам, что хорошо видно из корреляции максимумов на периодограммах (рис. 1). Обеспеченность или частота каждой гармоники в пределах различных гипсометрических профилей имеет разные величины (табл. 2, 3). Частота гармоник с самыми крупными периодами (для профилей двух направлений) составляет наиболее высокий процент (до 100%). Необходимо отметить, что корректность в определении обеспеченности гармоник снижается с увеличением их периодов в связи с ограниченной протяженностью гипсометрических профилей. Тем не менее, совместное рассмотрение всех про-

¹ Наиболее удобно ширину деформаций (длину волны или период гармоники) выражать в градусах координатной сетки, так как длина каждой волны меридионального простирания меняется в зависимости от географической широты (табл. 1).





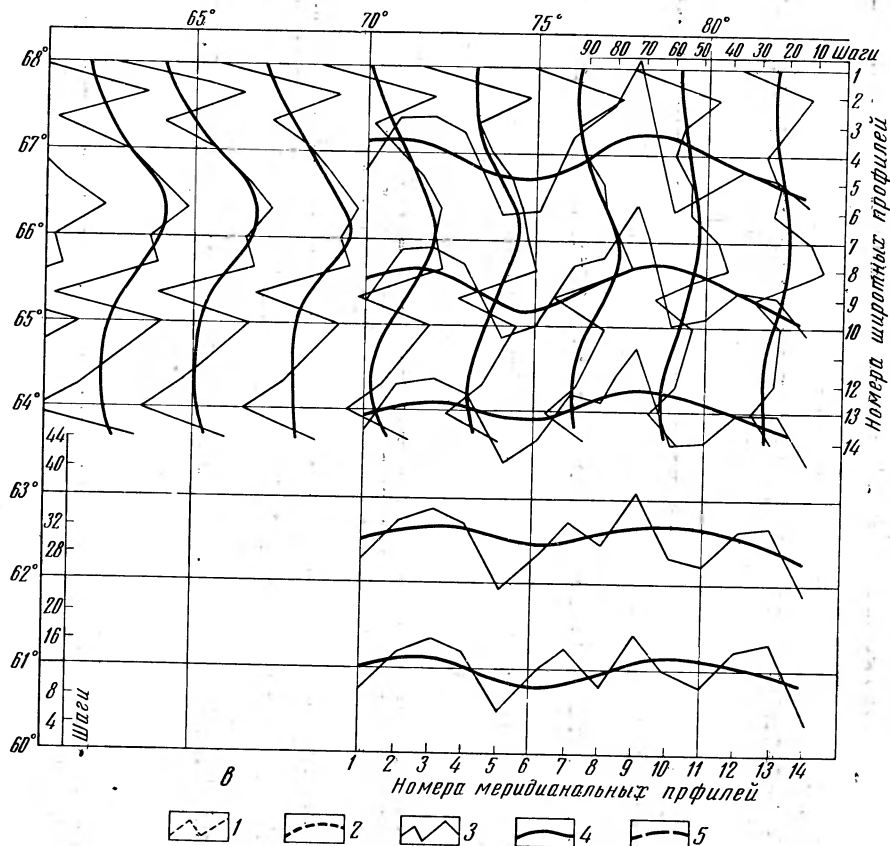


Рис. 2. Расположение осей волнообразных поднятий и прогибов первой (а), второй (б) и третьей (в) систем относительно координатной сетки.

1 — линия, соединяющая фактические максимумы на гипсометрических профилях; 2 — оси волнообразных поднятий; 3 — линия, соединяющая фактические минимумы на гипсометрических профилях (1, 2, 3 — только для первой системы); 4 — оси волнообразных прогибов; 5 — оси волнообразных прогибов, проведенные предположительно (для второй системы)

филей (как широтных, так и меридиональных) подтверждает достоверность их выделения.

В настоящее время при анализе рельефа платформенных областей выявлены волнообразные деформации шириной до 500—600 км и более (Мещеряков, 1965). Установленный нами спектр гармоник ограничен, с одной стороны, протяженностью гипсометрических профилей (рис. 2, 3), а с другой — величиной выбранного шага.

Исходя из длины и амплитуды волн можно сгруппировать их в определенные ортогональные системы. Так как один градус по меридиану равен отрезку длиной ~ 111 км, а для параллелей — отрезку, длина которого изменяется от 55,8 до 41,8 км (для широт 60—80°), возникает возможность объединить выделенные гармоника по их периоду в три ортогональные системы разного порядка (рис. 2, табл. 1). Деформации в каждой из выделенных систем характеризуются определенными значениями амплитуд, которые ориентировочно можно установить по величине ΔS .

Как показано на рис. 2 и 3, волнообразные деформации не являются прямолинейными. Их оси изгибаются в плане в зависимости от их удаленности от обрамлений плиты, а также, по-видимому, в результате взаимной интерференции. Оси меридиональных деформаций первой системы имеют уральское направление в западной части равнины,

к центру ее они становятся почти прямолинейными и затем в приенисейской части приобретают направление, параллельное границе Западно-Сибирской плиты с Сибирской платформой. Оси широтных волн в центральной части совпадают с параллелями, а ближе к Енисею приобретают северо-восточное направление. В отличие от меридиональных широтные волны строго параллельны друг другу, что указывает на менее тесную связь этих деформаций со структурным планом фундамента и мезозойско-палеогеновой толщи осадочного чехла.

Взаимное наложение волнообразных деформаций определило все главные особенности орогидрографии региона, в том числе взаимную параллельность и перпендикулярность крупнейших долин и водоразделов. Размещение осей поднятий и прогибов первой системы объясняет чередование основных меридиональных и субмеридиональных водоразделов и речных долин. Самая западная ось (см. рис. 3) отражает простираание Полярного Урала, самого крупного на левобережье Оби водораздела Сыни и Северной Сосьвы и Белогорского материка. Соседняя ось объединяет меридиональный отрезок долины Оби с Байдарацкой губой. Следующая к востоку ось поднятия соответствует Обь-Надымскому водоразделу, продолжением которого к северу является полуостров Ямал; ось прогиба отвечает долине Надыма и Обской губе, следующая ось поднятия — Пур-Надымскому междуречью и Западно-Гыданской возвышенности. В центральной части Пур-Тазовского междуречья проходит ось прогиба, что объясняет его аномально низкое гипсометрическое положение (на 45—50 м ниже других водоразделов) и ряд палеогеографических особенностей. С осью поднятия, проходящего по правобережью Таза, связана асимметрия его долины и Таз-Енисейского междуречья. Широтные деформации также определяют основные особенности в орогидрографии территории. Самая северная ось поднятия проходит по Щучинскому выступу, приподнятой части Тазовского полуострова и водоразделу Мессояха — Таз. Южнее расположена ось прогиба, к которому приурочены долины крупнейших притоков меридиональных рек (Куноват, Танлова, Часелька и Худосей). Далее на юг оси поднятия соответствуют Сибирские Увалы, а соседней оси прогиба — широтное колено Оби и долина Ваха.

Наложение на эту самую крупную систему волнообразных деформаций поднятий и прогибов второй и третьей систем, с одной стороны усложняет выявление связи между волновыми движениями и современным орогидрографическим рисунком, а с другой — определяет важные его особенности, объяснения которых до сих пор не было в литературе. Речь идет, в частности, о Сибирских Увалах — главном водоразделе Западно-Сибирской равнины. Его значение в новейшей структуре, орогидрографии и гипсометрии данной территории объясняется совпадением в пространстве осей волнообразных широтных поднятий всех трех выявленных систем со сложением их амплитуд. Для зоны долины Надыма — Обская губа, а также широтного колена Оби, урезы воды для которой отличаются очень небольшими величинами (18—35 км), и долины Ваха характерна такая же картина наложения осей прогибов близкого простираания. Многочисленные комбинации при наложении волнообразных деформаций разных систем и знака создают многообразие в орогидрографическом рисунке и распределении высот на этой территории. Несоответствие в расположении зон с максимальными абсолютными отметками и водораздельных линий (в частности, для Пур-Тазовского и Таз-Енисейского междуречий) определяется приуроченностью последних к приосевым частям малоамплитудных поднятий.

Точки пересечения осей поднятий создают в рельефе своеобразные орографические узлы, которые характеризуются радиальным рисунком гидросети, максимальными абсолютными отметками, значительным эрозийным расчленением, резкими изменениями направлений водораздельных линий и огибающих их речных долин. Наиболее яркими при-

Характеристики деформаций разных ортогональных систем

Орто- гональ- ные системы	Деформации меридионального простираия			Деформации широтного простираия		
	ширина		средняя амплитуда, м	ширина		средняя амплитуда, м
	град	км		град	км	
I	5°45'—7°20'	304—408 240—306	61	2°50'—3°40'	315—407	51
II	3°45'—4°40'	209—250 157—185	43	2°10'—2°40'	240—296	41
III	2°25'—3°05'	135—179 101—128	27	1°20'—1°40'	148—185	24

Примечания: 1 — приводится ширина деформаций для параллелей 60° и 68° с. ш.; 2 — под амплитудами в данном случае понимается разность между соседними экстремальными значениями $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$ по каждой из выделенных гармоник.

мерами их являются Белогорский материк и Верхне-Тазовский свод. При пересечении прогибов фиксируются гидрографические узлы — участки с центростремительным характером гидросети, максимальным развитием низких геоморфологических уровней, сильной заболоченностью и заозеренностью. Таким образом, оценивая геоморфологическую роль волнообразных движений, можно сказать, что они определили все особенности (ориентировку, чередование, гипсометрическое положение, ширину и асимметрию) основных орогидрографических линий (водоразделов и речных долин) и узлов.

Структурообразующая роль волнообразных движений заключается в создании линейно-вытянутых разноориентированных новейших прогибов и валов, а также изометричных структурных форм, образованных в местах пересечения положительных (своды, выступы) и отрицательных (впадины) разнонаправленных деформаций. Все они довольно отчетливо выражены в рельефе. Амплитуды новейших структур находятся в тесной зависимости от амплитуд деформаций разных систем и их взаимного положения.

Наиболее контрастные структуры (Сибирскоувальская гряда, Ханты-Мансийская впадина), образованные в результате интерференции осей разнопорядковых поднятий и прогибов, имеют амплитуды до 125 м. Максимальных значений амплитуды достигают на изометрических структурах, созданных путем пересечения разнонаправленных деформаций (Верхне-Тазовский свод и др.).

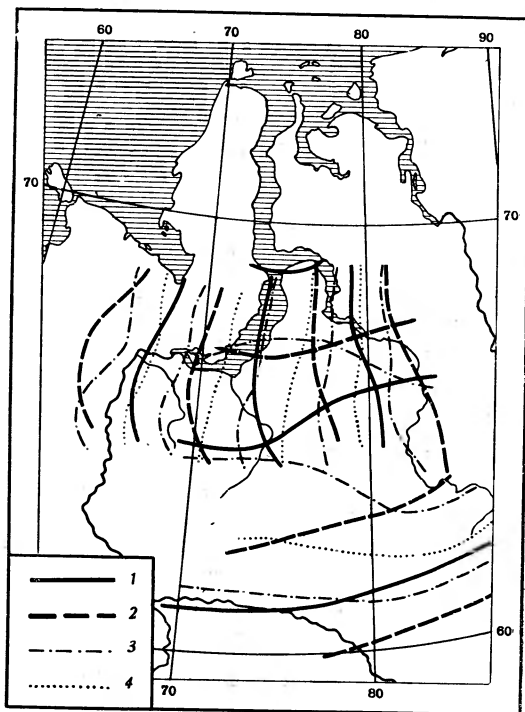


Рис. 3. Оси поднятий (2, 4) и прогибов (1, 3) первой (1, 2) и второй (3, 4) систем на северной половине Западно-Сибирской равнины (схематизировано)

Результаты гармонического анализа широтных гипсометрических профилей

Номер профиля	Широта профиля	I система								II система								III система							
		период шага	значение макс-сигма, $S_{\max}$	место макс-мума	частоты, %	значение мин-нимума, $S_{\min}$	место мин-мума	частоты, %	амплитуда $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$	период в шагах	значение макс-сигма, $S_{\max}$	место макс-мума	частоты, %	значение мин-нимума, $S_{\min}$	место мин-мума	частоты, %	амплитуда $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$	период в шагах	значение макс-сигма, $S_{\max}$	место макс-мума	частоты, %	значение мин-нимума, $S_{\min}$	место мин-мума	частоты, %	амплитуда $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$
1	68°00'	70	59	28	100	9	58	100	50	56	58	34	100	20	8	100	38	37	51	37	80	22	37	80	29
2	67°40'	71	69	34	100	9	55	100	60	54	57	40	100	13	24	100	44	33	51	7	67	30	42	67	24
3	67°20'	71	89	4	100	9	50	100	80	53	59	1	50	13	20	100	46	37	55	1	83	23	20	80	32
4	67°00'	70	67	15	100	9	54	100	58	52	66	14	75	13	28	100	53	32	36	2	100	23	28	20	13
5	66°40'	70	59	36	100	9	65	100	50	50	53	6	75	17	34	100	36	31	44	29	83	22	23	100	22
6	66°20'	76	69	14	100	9	67	100	60	47	54	44	75	19	22	100	35	29	49	11	72	32	25	50	47
7	66°00'	78	59	41	100	19	64	100	40	55	74	1	75	25	27	100	46	34	58	1	50	35	11	60	23
8	65°40'	88	74	4	100	9	21	100	65	55	73	51	100	23	24	75	50	34	59	13	50	31	7	50	28
9	65°20'	80	113	77	100	26	57	100	87	50	70	3	100	30	28	100	40	35	70	15	43	37	32	57	33
10	65°00'	79	83	4	100	27	73	100	56	50	73	5	80	37	33	100	36	32	58	1	86	41	22	57	47
12	64°20'	75	103	7	100	33	74	100	70	51	92	7	80	47	43	100	45	34	81	7	72	45	24	72	36
13	64°00'	73	100	14	100	27	70	100	73	53	105	14	67	41	37	67	64	37	90	14	75	48	32	75	42
14	63°40'	69	105	30	100	55	4	100	50	45	95	30	75	60	16	50	35	32	98	30	80	61	26	20	37
Среднее значение		75	—	—	100	—	—	100	61	51	—	—	81	—	—	86	43	34	—	—	70	—	—	61	27

Примечание. Отсчет шагов ведется с востока на запад от меридиана 84°.

Результаты гармонического анализа меридиональных гипсометрических профилей

Номер профиля	Долгота профиля	I система								II система								III система							
		период в шагах	значение мак- симума $S_{\max}$	место максимума	частот., %	значение ми- нимума $S_{\min}$	место минимума	частот., %	амплитуда $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$	период в шагах	значение мак- симума $S_{\max}$	место максимума	частот., %	значение ми- нимума $S_{\min}$	место минимума	частот., %	амплитуда $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$	период в шагах	значение мак- симума $S_{\max}$	место максимума	частот., %	значение ми- нимума $S_{\min}$	место минимума	частот., %	амплитуда $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$
1	70°00'	43	90	10	50	35	17	55	29	81	26	67	43	17	38	18	79	2	100	53	9	26	80		
2	71°00'	41	90	5	100	38	14	52	29	98	5	100	40	20	58	19	77	1	100	52	14	25	80		
3	72°00'	38	79	3	100	36	16	43	28	71	10	75	41	26	30	18	64	3	80	47	16	17	80		
4	73°00'	37	88	6	100	30	15	58	—	—	—	—	—	—	—	18	68	5	100	39	14	29	80		
5	74°00'	41	92	1	100	40	16	52	—	—	—	—	—	—	—	17	71	12	20	44	6	27	40		
6	75°00'	40	99	37	100	42	21	57	—	—	—	—	—	—	—	16	81	4	83	58	11	24	83		
7	76°00'	38	105	36	100	43	13	62	—	—	—	—	—	—	—	18	80	1	100	63	15	17	50		
8	77°00'	38	94	36	100	40	14	54	—	—	—	—	—	—	—	20	87	18	100	53	10	35	60		
9	78°00'	44	70	1	50	40	14	54	32	73	1	100	40	27	33	20	60	1	60	42	17	18	60		
10	79°00'	42	95	33	50	60	40	35	28	77	25	67	53	13	24	16	72	1	67	57	12	15	50		
11	80°00'	37	109	36	67	44	14	65	27	86	11	67	58	24	29	17	77	4	80	64	10	40	40		
12	81°00'	36	103	4	67	42	15	61	28	98	10	100	48	22	50	17	86	7	84	63	15	23	100		
13	82°00'	34	100	4	67	46	18	54	26	80	3	100	43	18	37	16	84	7	84	60	16	24	100		
14	83°00'	41	135	15	100	38	40	97	26	134	4	100	62	20	72	18	112	15	84	72	5	40	100		
Средние значения	39	—	—	—	81	—	—	51	28	—	—	86	—	—	41	18	—	—	81	—	—	71	24		

Примечание. Отсчет шагов ведется с юга на север от параллели 60°.

ЛИТЕРАТУРА

- Афанасьев Б. А. Неотектоника Печорского угольного бассейна и прилегающих районов Северного Приуралья.—В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока Европейской части СССР, вып. 1. М., Госгеолтехиздат, 1961.
- Гниловский В. Г. К вопросу о формировании речной сети равнинного Предкавказья.—В кн.: Материалы по геоморфологии и палеогеоморфологии СССР, Тр. Ин-та географии АН СССР, М., 1956.
- Горелов С. К. Главнейшие элементы морфоструктуры юго-востока Русской равнины и их значение для характеристики нефтегазоносных структур.—В кн.: Геоморфологические методы при нефтегазопойсках работах, Тр. ВНИГНИ, 1966, вып. LIV.
- Карпинский А. П. Очерки геологического прошлого Европейской России. М., Изд-во АН СССР, 1947.
- Кузин И. Л., Чочиа Н. Г. Проблема оледенений Западно-Сибирской низменности.—В кн.: Основные проблемы изучения четвертичного периода, М., 1965.
- Ламакин В. В. Современное поднятие земной поверхности на Средней Печоре.—Изв. АН СССР, Сер. геол., 1945, № 4.
- Мещеряков Ю. А. Морфоструктура Западно-Сибирской равнины.—Изв. АН СССР. Сер. географ., 1962, № 3.
- Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.
- Миллер Р. А., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках. М., «Мир», 1965.
- Сакс В. Н. Четвертичный период в Советской Арктике.—Тр. НИИГА, 1953, т. 77.
- Троцюк В. Я. Методика структурно-геоморфологических исследований аккумулятивных равнин при нефтегазопойсках работах. М., «Наука», 1967.
- Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., Недра, 1964.
- Ханович И. Г., Яновский Г. Г., Айнемер А. И., Конисская Н. А. Метод обзора числовых совокупностей для изучения строения разрезов осадочных толщ.—В кн.: Математические методы в геологии. Тр. ВСЕГЕИ, Л., 1968, вып. 150.
- Эвентов Л. С., Проничева М. В. Новейшая тектоника Прикаспийской впадины и ее значение для поисков нефти.—В кн.: Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М., «Недра», 1967.

ВНИГНИ
Ленинградский горный
институт

Поступила в редакцию
17.VII.1969

A HARMONIC ANALYSIS OF HYPSONETRIC PROFILES FOR DEFINING UNDULATING DEFORMATIONS

A. N. LASTOCHKIN and I. A. ODESSKY

Summary

An original technique of defining undulating deformations of the Earth's crust is considered, illustrated by the territory of the West Siberian Plain. Meridional and latitudinal undulating deformations of different lengths and amplitudes have been defined. All the main features of the West-Siberian orohydrography are conditioned by the overlapping of undulating deformations.