

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.11

© 1990 г.

В. И. АНТРОПОВСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ПРЕДЕЛАХ
МОРФОЛОГИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫХ УЧАСТКОВ РЕК

При строительстве гидротехнических сооружений и осуществлении крупных водохозяйственных мероприятий изменяется сток воды и наносов, по-иному проявляется влияние факторов, ограничивающих развитие русловых деформаций. В результате русла рек переформируются. Происходят как плановые, так и глубинные деформации. Возникает необходимость их оценки. Знание глубинных деформаций необходимо для оценки надежности заглубления подводных трубопроводов, кабелей линии связи, фундаментов опор линий электропередач при переходе их через реки, мостовых опор, а также для выяснения судоходных условий и планирования путевых работ. Судоходные условия вследствие деформаций русел рек изменяются как в течение периода навигации, так и особенно в многолетнем разрезе. За период срока службы сооружений становятся заметными медленные однонаправленные деформации, связанные с процессами врезания или аккумуляции русел рек, которыми в естественных условиях обычно пренебрегают.

Еще более значительны деформации, вызываемые развитием макроформ и перемещением крупных форм руслового рельефа (мезоформ, а на крупных реках и микроформ). С развитием макроформ связано не только изменение глубин, но и возникновение новых проток, излучин, отмирание старых. Деформации в отдельных рукавах часто зависят от деформаций в смежных протоках, например занесение входа в одном рукаве может вызвать ускорение деформаций в смежном. Проявляется эта связь деформаций и при спрямлении излучин в случаях свободного и незавершенного меандрирования. Характером макро- и мезоформ определяются типовые очертания продольного профиля при одном и том же падении уровня на участке. Деформации русла, происходящие вследствие развития макро- и мезоформ, приводят к циклическим изменениям отметок дна и водной поверхности относительно среднего положения продольного профиля (рис. 1). Микроформы являются результатом развития турбулентности и на продольном профиле сказываются мало. Часто (особенно на малых реках) изменение глубины из-за наличия микроформ находится в пределах точности ее измерения [1].

Надвижение на створ сооружения крупных форм руслового рельефа (на больших реках нередко в несколько километров длиной и несколько метров высотой) коренным образом изменяет строение речного русла и может полностью изолировать сооружение от потока, превратить прежде глубоководный плес в участок высокого выпуклого берега. Перемещение крупных побочней и осередков в зависимости от колебания стока воды и наносов идет неравномерно от года к году. Поэтому скорости их сползания, а следовательно, и глубинные деформации могут существенно отличаться от средних многолетних [2—4].

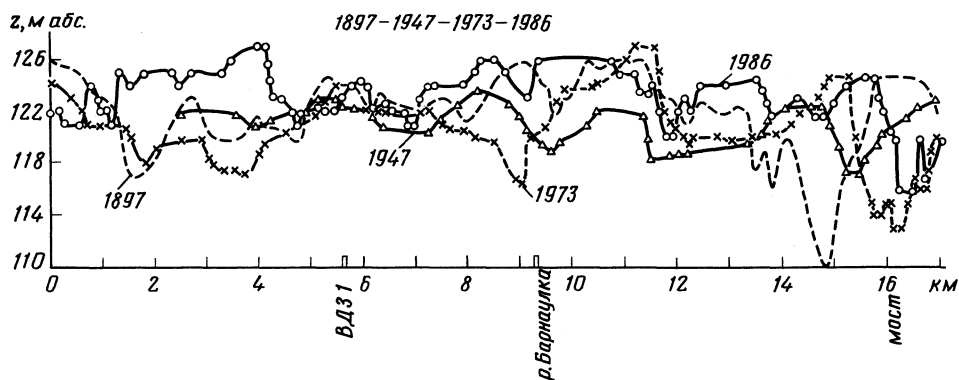


Рис. 1. Совмещенные за разные годы продольные профили по фарватеру р. Оби в районе г. Барнаула

Величины глубинных деформаций на реках в естественных условиях устанавливаются посредством совмещения разновременных и приведенных к одному масштабу поперечных и продольных профилей. Следует однако помнить, что за большой период времени (несколько, а иногда и не один десяток лет) между сроками составления профилей деформации, особенно глубинные, могут принимать разнонаправленный характер (размывы сменяются намывами и наоборот). Поэтому путем совмещения профилей, разделенных большими временными интервалами, устанавливаются средние деформации за многолетний период. На реках, где проводится интенсивное землечерпание с целью добычи песчаной гравийно-галечной смеси для нужд строительства или улучшения условий судоходства, при анализе деформаций приходится учитывать объемы выемок грунта. При совмещении профилей определяется амплитуда колебания высотных отметок дна Δh (или ΔZ) и скорости (интенсивность) глубинных деформаций $\Delta h/n$, где n — число лет между сроками составления продольных профилей (рис. 1). Указанные характеристики определенной обеспеченности могут быть получены по эмпирическим кривым обеспеченности (вероятности превышения) этих величин в пределах морфологически однородных участков. При этом величины установленных деформаций за прошедший период распространяются и на будущее.

При отсутствии разновременных профилей обеспеченные глубинные деформации рек в естественных условиях могут быть установлены по участкам рек-аналогов, при наличии по ним необходимых материалов.

Установление скоростей деформаций определенной обеспеченности в проектных (преобразованных) условиях — сложная и до сих пор не решенная задача. Трудность заключается в том, что для этих условий отсутствуют достаточно надежные приемы определения «нормы» глубинных деформаций. Существующие зависимости, связывающие величины деформаций с определяющими факторами, не обладают общностью и, как показывают проверочные расчеты, часто не обеспечивают достаточной точности. Для повышения точности расчета рекомендуется построение статистических связей (зависимостей), связывающих равнообеспеченные значения переменных. В данном случае наиболее тесными оказались связи равнообеспеченных значений модульных коэффициентов интенсивности глубинных деформаций $K_{\Delta h}$ с модульными коэффициентами ширины русла K_B . Последующие проработки по рекам с разным типом руслового процесса и находящимся в разных физико-географических (геолого-морфологических) районах должны показать, насколько универсальны эти связи и какова их точность.

Для морфологически однородных участков Амура и нижней Зей (табл. 1) связь модульных коэффициентов глубинных деформаций по фарватеру с мо-

Модульные коэффициенты глубинных деформаций $K_{\Delta h}$ (в числителе) и ширины русла K_B (в знаменателе) различной обеспеченности по участкам рек Амур и Зея

Обеспеченность, P , %										
5	10	25	30	40	50	60	70	78	90	95
Участок Амура от с. Покровка до устья р. Ольдой (немеандрирующее русло с галечно-песчаными побочными и перекатами)										
$\frac{2,25}{1,56}$	$\frac{1,95}{1,39}$	$\frac{1,40}{1,14}$	$\frac{1,26}{1,09}$	$\frac{1,07}{1,00}$	$\frac{0,88}{0,93}$	$\frac{0,70}{0,87}$	$\frac{0,53}{0,81}$	$\frac{0,45}{0,77}$	$\frac{0,32}{0,73}$	$\frac{0,28}{0,71}$
От р. Ольдой до устья р. Б. Невер (симметричная глубоковрезанная орографическая излучина)										
$\frac{2,05}{1,20}$	$\frac{1,78}{1,16}$	$\frac{1,35}{1,10}$	$\frac{1,25}{1,08}$	$\frac{1,07}{1,06}$	$\frac{0,88}{1,02}$	$\frac{0,75}{0,97}$	$\frac{0,60}{0,93}$	$\frac{0,50}{0,88}$	$\frac{0,28}{0,77}$	$\frac{0,17}{0,70}$
От р. Б. Невер до устья р. Ольга (русловая с чертами пойменной)										
$\frac{2,32}{1,48}$	$\frac{1,95}{1,35}$	$\frac{1,30}{1,15}$	$\frac{1,15}{1,12}$	$\frac{0,92}{1,05}$	$\frac{0,75}{0,99}$	$\frac{0,60}{0,92}$	$\frac{0,49}{0,85}$	$\frac{0,40}{0,78}$	$\frac{0,26}{0,64}$	$\frac{0,17}{0,53}$
От р. Ольга до устья р. Беря (участок с чередованием сужений и расширений долины; в расширениях многорукавное русло с элементами незавершенного меандрирования)										
$\frac{2,70}{1,39}$	$\frac{2,08}{1,30}$	$\frac{1,32}{1,15}$	$\frac{1,15}{1,10}$	$\frac{0,90}{1,04}$	$\frac{0,75}{0,98}$	$\frac{0,65}{0,92}$	$\frac{0,50}{0,86}$	$\frac{0,40}{0,80}$	$\frac{0,21}{0,70}$	$\frac{0,15}{0,63}$
От р. Беря до р. Зея (однорукавное немеандрирующее русло с побочными и островами)										
$\frac{2,70}{1,47}$	$\frac{2,08}{1,31}$	$\frac{1,32}{1,15}$	$\frac{1,20}{1,11}$	$\frac{0,98}{1,03}$	$\frac{0,80}{0,99}$	$\frac{0,67}{0,92}$	$\frac{0,57}{0,88}$	$\frac{0,46}{0,82}$	$\frac{0,28}{0,71}$	$\frac{0,22}{0,63}$
Участок Зея от слияния с Амуром до 40 км от устья (русловая многорукавность осередково-островного типа)										
$\frac{2,42}{1,67}$	$\frac{1,92}{1,51}$	$\frac{1,35}{1,23}$	$\frac{1,22}{1,16}$	$\frac{1,00}{1,05}$	$\frac{0,85}{0,95}$	$\frac{0,70}{0,86}$	$\frac{0,57}{0,77}$	$\frac{0,45}{0,69}$	$\frac{0,27}{0,56}$	$\frac{0,25}{0,49}$
Участок Среднего Амура от Пашково до р. Самары (немеандрирующее однорукавное русло)										
$\frac{2,05}{1,50}$	$\frac{1,79}{1,38}$	$\frac{1,40}{1,15}$	$\frac{1,32}{1,12}$	$\frac{1,10}{1,03}$	$\frac{0,92}{0,96}$	$\frac{0,76}{0,88}$	$\frac{0,60}{0,82}$	$\frac{0,46}{0,77}$	$\frac{0,24}{0,68}$	$\frac{0,20}{0,65}$
Средние значения коэффициентов $K_{\Delta h}$ по участкам Амура и Нижней Зеи										
2,36	1,94	1,35	1,22	1,01	0,83	0,69	0,55	0,45	0,27	0,21
Средние значения коэффициентов $K_{\Delta h}$ для рек Южной Сибири (Иртыш у Омска; Обь у городов Барнаула и Камень-на-Оби; Енисей у д. Минусинка; Верхний и Средний Амур, Нижняя Зея)										
2,32	1,95	1,38	1,26	1,02	0,85	0,69	0,56	0,43	0,25	0,19

дальними коэффициентами ширины русла выглядит следующим образом (рис. 2):

$$K_{\Delta h} + 2,50K_B - 1,50.$$

Значения ширины русла в проектных условиях $B_{пр}$ могут быть установлены по существующим гидроморфологическим зависимостям.

Зная модульный коэффициент $K_B + B_{пр}/B$, где B — ширина русла в бровках в естественных условиях, по зависимости $K_{\Delta h} = f(K_B)$ представляется возможным определить модульный коэффициент $K_{\Delta h}$ для проектных условий. И наконец, учитывая, что $K_{\Delta h} = \Delta h_{пр}/\Delta h$ и имея величину глубинных деформаций по фарватеру в естественных условиях Δh , можно найти соответствующую величину для проектных условий $\Delta h_{пр}$.

Зная норму интенсивности глубинных деформаций, определение их обеспеченных величин по фарватеру в проектных условиях производится в зависимости от наличия данных, с использованием эмпирических или аналитических кривых обеспеченности. Графическая экстраполяция эмпирических кривых обеспеченности величин деформаций с предварительным их спрямлением на

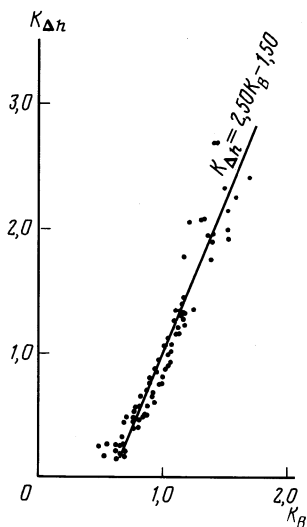


Рис. 2

Рис. 2. Связь равнообеспеченных значений модульных коэффициентов интенсивности глубинных deformаций с модульными коэффициентами ширины русла по морфологически однородным участкам р. Амура.

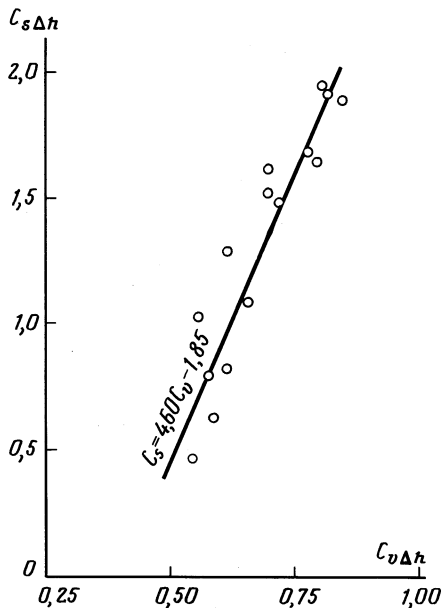


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость коэффициента асимметрии глубинных deformаций $C_{s\Delta h}$ от коэффициента вариации $C_{v\Delta h}$ для рек Южной Сибири

специальной клетчатке вероятности целесообразна при наличии длинного ряда наблюдений и при незначительной экстраполяции за пределы наблюдений.

Аналитические кривые обеспеченности применяются при ограниченных рядах наблюдений. Если теоретическая кривая соответствует эмпирической кривой ограниченного ряда наблюдений, то она может быть использована и для экстраполяции эмпирической кривой обеспеченности за пределы наблюдаемого ряда для определения значений характеристик более редкой повторяемости [5, 6]. Аналитическое сглаживание и экстраполяция применяются и при наличии длинных рядов, когда требуется перенести параметры кривых обеспеченности методом аналогии на неизученные реки.

В практике инженерно-гидрологических расчетов наиболее широко применяется биномиальная кривая распределения (кривая Пирсона III типа), обычно соответствующая наблюдаемым данным. Широкому ее применению благоприятствуют минимальное количество параметров (которыми она функционально выражается), простота их вычисления, наличие унифицированных таблиц ординат кривых и соответствующих клетчаток вероятности. Эта кривая и ее интегральное выражение — кривая обеспеченности — с приемлемой точностью могут быть выражены всего лишь тремя параметрами, а именно: средним арифметическим значений переменной, в данном случае $\bar{\Delta h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i$;

коэффициентом изменчивости (вариации) C_v , который представляет собой средний квадрат отклонений членов ряда от их средней величины

$$C_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2 / n - 1},$$

где $K_i = \Delta h_i / \bar{\Delta h}$; и коэффициентом асимметрии C_s , являющимся средним кубом указанных отклонений.

Для расчета обеспеченных величин deformаций по фарватеру в пределах морфологически однородных участков р. Амур использована формула эмпирической обеспеченности членов ряда С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля

$$P = m/n + 1 \cdot 100\%, \text{ где}$$

Параметры кривых обеспеченности интенсивности глубинных деформаций $\Delta h / n$ по фарватеру в пределах морфологически однородных участков рек Южной Сибири

Река	Участок	Ширина русла в бровках B , м	Параметры кривых обеспеченности		
			$\Delta h / n$ см/год	C_v	C_s
Амур	От с. Покровка до устья р. Ольдой	493	1,70	0,56	1,03
	От устья р. Ольдой до р. Б. Невер	463	2,57	0,55	0,47
	От устья р. Б. Невер до устья р. Ольга	461	2,90	0,82	1,93
	От устья р. Ольга до устья р. Берея	477	1,90	0,85	1,90
	От устья р. Берея до г. Благовещенска	538	2,48	0,78	1,70
	От п. Пашково до устья р. Самара	921	13,8	0,58	0,80
Зея	От слияния с Амуром до 40 км от устья		33,8	0,70	1,53
Енисей	От устья р. Карловка до д. Минусинка		5,30	0,66	1,10
			6,00	0,72	1,50
Обь	Вблизи г. Барнаула (см. рис. 1)	708	5,85	0,70	1,63
Обь	Вблизи г. Барнаула (см. рис. 1)	708	10,7	0,80	1,67
		708	18,9	0,99	1,40
		708	3,94	0,81	1,97
	Протока Фоминская		9,13	0,62	1,30
	Вблизи г. Камень-на-Оби		3,89	0,62	0,83
			11,5	0,92	0,57
Иртыш	Вблизи г. Омска	(360)	2,12	0,59	0,63

P — вероятность превышения наблюдаемых величин рассматриваемой характеристики, %, m — порядковый номер члена ряда расположенного в убывающем порядке, n — общее число членов ряда. Эта формула дает некоторый запас (завышение) в верхней части кривой обеспеченности и удобна при расчетах максимальных величин.

Инженерами Н. С. Логиновой и М. М. Жук выполнено совмещение разновременных продольных профилей и определение обеспеченных величин глубинных деформаций в пределах морфологически однородных участков по фарватеру Амура и ряда других рек Южной Сибири. По построенным эмпирическим кривым обеспеченности установлены модульные коэффициенты $K_{\Delta h}$ определенной обеспеченности (табл. 1), которые для участков рассмотренных рек, с разным типом русла, оказались довольно близкими для каждого конкретного значения обеспеченности (в интервале от 10% до 95%).

Кроме указанных устойчивых коэффициентов $K_{\Delta h}$ для определения обеспеченных значений глубинных деформаций недостаточно или совсем неизученных рек рекомендуется использовать аналитические кривые обеспеченности, для построения которых, кроме нормы, необходимо знание коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s . При наличии коротких рядов данных и использованием биномиальной кривой распределения для расчета указанных параметров удобно пользоваться графоаналитическим методом [7].

Для установления обеспеченных величин деформаций, при отсутствии данных, коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s приходится также рассчитывать по зависимостям. В процессе анализа данных по рассматриваемым характеристикам установлены зависимости коэффициентов вариации глубинных деформаций от собственно величин глубинных деформаций по фарватеру в пре-

делах участков и зависимость коэффициента асимметрии от коэффициента вариации (рис. 3):

$$Cv = 0,62 (\Delta h/n)^{0,08};$$

$$Cs = 4,60Cv - 1,85.$$

Приведенные зависимости получены по данным табл. 2. Наибольший разброс имеют точки, соответствующие морфологически однородным участкам рек с искусственными выемками аллювия. Этим же участкам соответствуют повышенные значения коэффициентов вариации глубинных деформаций и самих величин этих деформаций 10,5%-ной и более редкой обеспеченности.

Зная параметры кривой обеспеченности (норму, Cv , Cs), установить обеспеченные величины деформаций не представляет труда:

$$\Delta h_p = \Delta \bar{h} \cdot K_p,$$

где

$$K_p = \Phi \cdot Cv + 1.$$

Нормированные отклонения от среднего значения ординат биномиальной кривой Φ при заданной обеспеченности p , в % и известном коэффициенте асимметрии Cs определяются по таблице [5, 6].

В заключение следует отметить, что полученные формулы предназначены для расчета средних многолетних величин глубинных деформаций на сроки, измеряемые десятилетиями, т. е. на периоды, в течение которых правомерно ожидать различных по водности и стоку наносов лет. Рассмотренная методика используется для расчета величин глубинных деформаций различной обеспеченности на р. Амур в условиях функционирования проектируемых сооружений, в частности в пределах морфологически однородных участков в бьефах ГЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антроповский В. И. Наблюдения за уровнями и уклонами свободной поверхности потока // Методы изучения гидрологического режима водных объектов. Л.: Гидрометеоздат, 1982. С. 135—140.
2. Маккавеев Н. И. Руслевой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат. 1949. 202 с.
3. Чалов Р. С. Динамика перекатов и ее количественные характеристики // Вопросы географии. М.: Географгиз, 1964. № 64. С. 192—201.
4. Попов И. В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеоздат, 1969. 363 с.
5. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 439 с.
6. Строительные нормы и правила. Определение расчетных гидрологических характеристик. СНиП 2.01.14—83. М.: Госкомитет СССР по делам строительства, 1985. 36 с.
7. Алексеев Г. А. Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения // Тр. ГГИ. 1960. Вып. 73. С. 140—169.

Государственный гидрологический
институт Госкомгидромета

Поступила в редакцию
7.VIII 1989

EVALUATION OF BOTTOM DEFORMATIONS WITHIN LIMITS OF RIVER SEGMENTS WITH UNIFORM MORPHOLOGY

ANTROPOVSKY V. I.

Summary

Methods are discussed of calculation of vertical deformation of river channel bottom (along the fairway) within the limits of morphologically uniform segments of rivers under natural conditions and with disturbed hydrological regime and channel processes due to hydrotechnical constructions.

The results can be used to determine how deep must be installed pipelines, cables and masts' foundations of power lines, crossing the river; they may be also applied to water ways designing and dredging organization.

УДК 551. 4. 07 (470. 46)

© 1990 г.

Л. Б. АРИСТАРХОВА, Е. И. САХАРОВА

ПРЕДРАННЕПЕРМСКИЙ РЕЛЬЕФ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АСТРАХАНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Астраханское газоконденсатное месторождение (АГКМ) расположено в пределах крупной кольцевой структуры центрального типа, разбитой на несколько блоков, испытавших различные тектонические подвижки в четвертичное время, что было обусловлено скорее всего дифференцированными движениями отдельных блоков фундамента. Морфоструктурные блоки разграничены и осложнены четко проявленными в рельефе прямолинейными и дуговыми линиями — морфолинеаментами, фиксирующими простирающие активизированных в новейшее время разрывных нарушений и зон трещиноватости. Ряд из них, судя по геомагнитным данным, прослеживается также и в палеозойской толще. Комплексный сравнительный анализ морфоструктурных и геолого-геофизических данных позволил заключить, что район Астраханского выступа фундамента и одноименного сводового поднятия в подсолевой толще осадочного чехла, в центральной части которого расположено АГКМ, имеет более сложное тектоническое строение, чем считалось ранее. Одновременно получены доказательства взаимосвязи современной морфоструктуры региона с глубинным строением. Как показано ниже, результаты палеогеоморфологического анализа эпохи предраннепермского континентального перерыва (т. е. поверхности продуктивной толщи) подтверждают это предположение.

Продуктивный горизонт АГКМ приурочен к карбонатным породам башкирского яруса среднего карбона, залегающим на глубинах около 3, 5—4 км. От непосредственно перекрывающих их нижнепермских отложений они отделены поверхностью глубокого размыва, которая к настоящему времени деформирована позднейшими тектоническими движениями. Поскольку особенности рельефа могли оказать существенное влияние на распределение нефтегазоносных коллекторов и ловушек, возникла необходимость восстановления предраннепермского рельефа, выработанного в карбонатных осадках продуктивного горизонта. Реконструкция палеорельефа проводилась по принятой методике палеогеоморфологических исследований [1] путем анализа мощности отложений, непосредственно перекрывающих поверхность размыва. За «реперный» условный нулевой уровень, от которого производился отсчет мощности, была принята кровля захороняющих этот рельеф ассель-артинских отложений нижней перми. По данным ПГО «Нефтегеофизика», «Нижеволжскгеология» эта литологически выдержанная тонкослоистая глинистая, глинисто-карбонатная глубоководная толща, охарактеризованная фауной и спорово-пыльцевыми комплексами, имеет региональное распространение и сравнительно небольшую мощность (порядка 60—140 м). Накопление ее происходило, по-видимому, в спокойных тектонических условиях и сформированная ею поверхность может быть принята близкой к горизонтальной.

Построение карты мощности отложений ассель-артинского горизонта проводилось исключительно по материалам бурения. Результаты сейсмических профилей, покрывающих густой, равномерной сеткой Астраханский свод, нельзя было использовать ввиду неоднозначной интерпретации сейсмических