

Шелубица

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ
(ПНИИИС) ГОССТРОЯ СССР

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Основные положения	6
2. Основные сведения о природе карстового процесса	7
3. Противокарстовая защита и условия ее применения	35
4. Характерные ошибки при использовании инженерно-геологической информации в процессе выбора противокарстовой защиты	43
5. Использование инженерно-геологической информации при выборе противокарстовой защиты на стадии принятия архитектурно-планировочных решений.	48
6. Определение расчетного размера карстового провала для проектирования фундаментов	59
7. Оценка эффективности противокарстовой защиты.	64
<i>Приложение 1.</i> Использование инженерно-геологической информации при составлении проектов тампонажа карстовых полостей (опыт института Гидроспецпроект)	68
<i>Приложение 2.</i> Метод определения диаметра карстовых провалов с учетом нагрузки от сооружений	70
<i>Приложение 3.</i> Методы дифференцирования закарстованных территорий по интенсивности карстовых провалов	73
<i>Приложение 4.</i> Методы определения направления провально-го процесса и ориентации поля провалов.	78

Нормативно-производственное издание

ПНИИИС Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л.Г. Бальян
Редактор М. В. Никольская
Мл. редактор Л. И. Месяцева
Технический редактор И. В. Попова
Корректор В.И. Галюзова
Н/К

Подписано в печать 17.12.86 Т — 08252 Формат 84 x 108 1/32
Бумага офсетная № 2 Печать офсетная Усл.печ.л. 4,20
Усл.кр.-отт. 4,52 Уч.-изд.л. 5,01 Тираж 5000 экз. Изд. № XII — 742
Зак. № 27 Цена 25 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Типография ЦНИИТЭИПИЩЕПРОМА
113035, Москва, ул. Осипенко, 14

Рекомендации

по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты

РСФСР
Исполнительный комитет
городского Совета
народных депутатов
Малое предприятие
«Научно-производственный
центр «КАРСТ»
г. Дзержинск
Нижегородской области
Дух № 240
На № _____

Москва Стройиздат 1987

Рекомендованы к изданию решением Научно-технического совета ПНИИИС Госстроя СССР.

Рекомендации по использованию инженерно-геологической информации при выборе способов противокарстовой защиты /ПНИИИС. — М.: Стройиздат, 1987. — 80 с.

Приведен перечень видов противокарстовой защиты и условий их применения в промышленном и гражданском строительстве. Показаны характерные ошибки, встречающиеся при выборе способов противокарстовой защиты из-за недостаточного использования инженерно-геологической информации. Представлены способы учета этой информации при выборе противокарстовой защиты.

Для инженерно-технических работников, занятых инженерными изысканиями и проектированием зданий и сооружений.

Табл. 9, ил. 27.

3202000000 — 277

Р ————— Инструкт.-нормат., I вып. — 94 — 86

047 (01) — 87

©Стройиздат, 1987

ВВЕДЕНИЕ

Закарстованные территории занимают значительную часть территории СССР. Поэтому в связи с постоянно возрастающими объемами капитального строительства, дефицитом свободных для строительства территорий, а также существенным влиянием современной технологии на интенсивность карстовых процессов освоение закарстованных территорий в СССР является весьма актуальной народнохозяйственной задачей.

Проблема защиты зданий и сооружений от вредного влияния карста является достаточно сложной, требующей глубокого понимания природы карстового процесса, знания степени ответственности защищаемого объекта и основных его параметров. Объемы противокарстовой защиты в различных условиях могут существенно отличаться. В некоторых случаях выполнять ее нецелесообразно, в других же стоимость противокарстовых мероприятий может составлять более десяти процентов сметной стоимости проектируемого объекта.

Таким образом, проблема противокарстовой защиты является не только технической или инженерно-геологической, но и экономической.

В «Рекомендациях по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР» (М., ПНИИИС, 1967) были впервые определены сферы применения различных способов противокарстовой защиты планировочного, геотехнического и конструктивного характера, что позволило в значительной степени упорядочить выбор видов противокарстовой защиты. Однако в этих Рекомендациях не указано, каким образом следует непосредственно использовать ту или иную инженерно-геологическую информацию. Используя эти Рекомендации ввиду отсутствия нормативного документа по выбору противокарстовой защиты, многие изыскательские и проектные организации не учитывают в должной мере природу карстового процесса и необходимых его параметров при выборе противокарстовой защиты, что часто приводит к серьезным ошибкам.

Следствием этих ошибок является или недостаточная противокарстовая защита, приводящая к авариям или

повреждениям зданий и сооружений под действием карстовых деформаций, или же, наоборот, их излишняя защита, которая вызывает повышение стоимости строительства. И то и другое влечет за собой существенные экономические потери.

Таким образом, решение задачи повышения эффективности инженерной защиты строящихся и эксплуатируемых объектов от вредного влияния карстовых процессов является весьма актуальной.

Под эффективностью противокарстовой защиты понимается соотношение между фактически достигнутым и нормированным в зависимости от степени ответственности сооружения и расчетного срока его службы значением определенных параметров (фактической и допустимой надежностью, величиной вероятного ущерба и капиталовложениями в противокарстовую защиту, фактическим и нормированным коэффициентом опасности полости и т. д.).

Реализация эффективных решений противокарстовой защиты возможна лишь при условии рассмотрения вопросов изысканий, оценки карстоопасности и проектирования, а также технологии строительства и эксплуатации зданий и сооружений в рамках единой системы.

Сложность природы карстового процесса и многообразие видов противокарстовой защиты требуют взаимозависимости действий при проведении изысканий и проектировании и своевременного взаимного корректирования.

В связи с этим в настоящих Рекомендациях приведены основные сведения о природе карстового процесса с точки зрения назначения видов противокарстовой защиты и их инженерно-геологическая классификация. Эта классификация ни в коей мере не противоречит инженерно-строительной классификации, приведенной в «Рекомендациях по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР» (М., ПНИИИС, 1967). Принцип построения классификации позволяет использовать ее непосредственно как при изысканиях, так и на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации, особенно при организации комплексной инженерной защиты.

При подготовке Рекомендаций было проанализировано большое число заключений по изысканиям в карстовых районах и проектов промышленных гражданских и транспортных объектов, расположенных на закарсто-

ванных территориях, а также зарубежные публикации по этим вопросам (ГДР, Франция, ФРГ, США и др.).

Рекомендации по использованию инженерно-геологических информаций при выборе видов противокарстовой защиты планировочного и конструктивного характера и оценке их эффективности подготовлены по материалам исследований, выполненных в основном в карстовой лаборатории ПНИИИС (г. Дзержинск).

В работе принимали участие сотрудники ПНИИИС: канд. техн. наук В.В. Толмачев (разд. 1—7), канд. геол.-минерал. наук В.П. Хоменко (разд. 2), инженеры В.Б. Сорокина (разд. 4), О.Б. Нещеткин (прил. 3, 4), а также инж. Г.М. Троицкий (НИИОСП) — разд. 3, 6, прил. 2, канд. техн. наук Ю.Д. Чертыков (Гидроспецпроект) — прил. 1.

Рекомендации разработаны под общей редакцией канд. техн. наук В. В. Толмачева.

Замечания и предложения просим направлять по адресу: 606023, Дзержинск, Горьковская обл., ул. Маяковская, 33. Карстовая лаборатория ПНИИИС Госстроя СССР.

где n — количество рассчитываемых элементарных слоев.

Процесс вычисления сумм Δh_i , y_i и y_i^2 производится до выполнения одного из следующих условий:

- $\frac{1}{2} d_E \leq y_i$ — ордината склона y_i на глубине h_i равна радиусу провальной воронки $d_E/2$; или
- $\Sigma \Delta h_i = h_i = h_0$ — глубина провальной воронки h_i равна видимой глубине h_0 провала.

Методы дифференцирования закарстованных территорий по интенсивности карстовых провалов

Дифференцирование рекомендуется проводить посредством трансформации поля провалов в поле их плотности, используя принципы скользящего кружка. Радиус кружка, обеспечивающий наибольшую контрастность поля плотности провалов, определяется по формуле

$$R = 0,86l, \tag{1}$$

где l — расстояние между точками измерений.

Методика трансформации поля провалов в поле их плотности заключается в следующем. На карту наносят квадратную сеть точек измерений с выбранным расстоянием l , в каждую точку помещают центр кружка радиусом R , подсчитывают количество провалов в его пределах и присваивают полученные значения соответствующей точке измерений.

Эти значения плотности провалов, рассчитанные на площадь кружка, и образуют поле. Поскольку плотность провалов при такой трансформации может выражаться лишь целыми числами, полученное поле плотности дискретно. Это позволяет провести границы между зонами с разной плотностью, в пределах которых плотность провалов постоянна в любой точке. Пример трансформации показан на рис. 1.

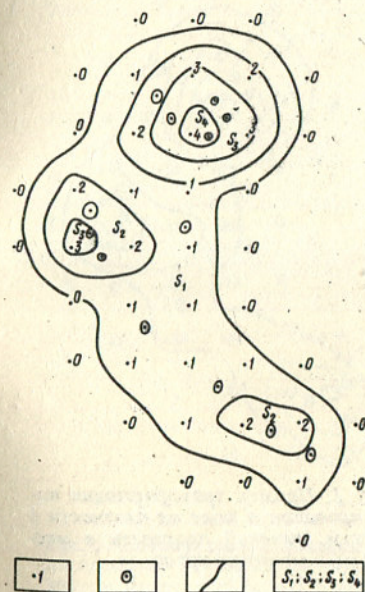


Рис. 1. Пример трансформации поля провала в поле их плотности
1 — точка измерения со значением плотности провала; 2 — карстовые провалы; 3 — границы разноплотностных зон; 4 — разноплотностные зоны со значениями плотности провала (1, 2, 3, 4)

Провалы представляются точками, соответствующими их центрам. При подсчете количества провалов не учитываются те, центры которых лежат на границе кружка. Границы зон с разной плотностью проводят по аналогии с изолиниями (рис. 2). Местоположение границ соответствует средним расстояниям между двумя соседними значениями плотности провалов. При этом промежуточные значения плотности рассчитывают только между соседними точками измерений, образующими квадраты. Внешняя граница является границей поля плотности провалов.

Интенсивность провалов для каждой выделенной зоны рассчитывают по формулам:

$$\text{при } \lambda_0 > 0,2 \quad \lambda_i = - \ln \left[1 - (1 - \lambda_0) \left(\frac{\pi_i S_0}{\sum_{i=1}^n \pi_i S_i} \right) \right]; \quad (2)$$

$$\text{при } \lambda_0 \leq 0,2 \quad \lambda_i = \frac{\pi_i \lambda_0 S_0}{\sum_{i=1}^n \pi_i S_i}, \quad (3)$$

где λ_i — интенсивность провалов для i -той зоны; λ_0 — среднее значение интенсивности провалов для выделенного поля плотности; π_i — величина плотности провалов в i -той зоне; S_0 — площадь выделенного поля плотности провалов; S_i — площадь i -той зоны; n — количество зон с разной плотностью.

Величина λ_0 определяется по формуле

$$\lambda_0 = N/S_0 T, \quad (4)$$

где N — количество провалов в выделенном поле плотности; T — период времени, за который образовалось N провалов.

Необходимость более точного учета неравномерности распределения провалов может возникнуть при освоении участков со значительной картоопасностью, строительстве особо ответственных и ответственных сооружений в непосредственной близости с местами сгущения провалов. В этом случае рекомендуется измерять плотность в точках, соответствующих

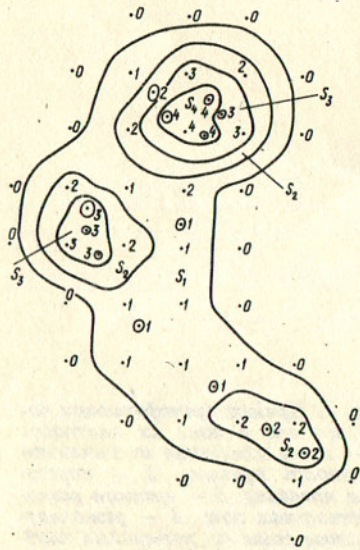


Рис. 2. Пример трансформации поля провалов в поле их плотности с учетом значений плотности в местах расположения провалов

центрам провалов. Расчет промежуточных значений плотности в квадратах, образованных соседними точками измерений, при наличии провалов производится методом треугольников. При этом необходимо стремиться к построению треугольников, близких к равносторонним.

Для детального определения конфигураций границ с разной плотностью зон рекомендуется следующий метод трансформации поля провалов в поле их плотности. На карту наносят квадратную сеть точек измерений плотности с выбранным расстоянием l , в каждую точку помещают центр кружка радиусом R , определяют количество провалов в пределах кружка, расстояние от точки измерения до центра провалов и рассчитывают значение плотности в точке измерения по формуле

$$\pi = \frac{m}{\sum_{j=1}^m \sqrt{1 - \left(\frac{r_j}{R}\right)^2}},$$

где m — количество провалов в пределах кружка; r_j — расстояние от точки измерения до центра j -го провала.

Такая трансформация позволяет получить непрерывное распределение плотности провалов в пределах выделенного поля плотности. Для приведения поля к дискретному виду в соответствии с физическим смыслом измеряемой плотности провалов необходимо провести изолинии плотности 0,5; 1,5; 2,5 и т.д. и определить значения плотности в каждом интервале изолиний. Расчет промежуточных значений плотности проводится по методике, указанной в данном приложении.

Таким образом, изолиния 0,5 является границей слоя плотности провалов, а интервалы изолиний 0,5–1,5; 1,5–2,5; 2,5–3,5 и т.д. соответствуют зонам с плотностью провалов 1, 2, 3 и т.д. Пример такой трансформации представлен на рис. 3. Расчет интенсивности провалов для выделенных зон проводится по формулам (2), (3).

Уточнение местоположения границ разноплотностных зон проводится по методике, проведенной в данном приложении. Пример такой обработки представлен на рис. 4.

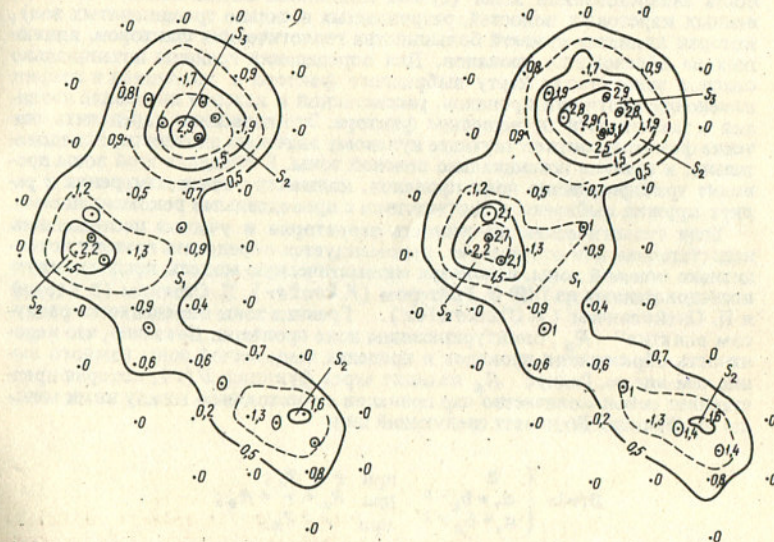


Рис. 3. Пример трансформации поля провалов в поле их плотности с учетом расстояний между точками измерений и центрами провалов r_j

Рис. 4. Пример трансформации поля провалов в поле их плотности с учетом значений π_i и значений плотности в центрах провалов

Методы трансформации поля провалов в целом дают сходные поля плотности провалов.

Количество точек измерений плотности и величина радиуса кружка зависят от степени геологической изученности участка исследования и окружающей его территории и определяются следующим образом.

Если степень геологической изученности территории такова, что позволяет выделить участки, однородные по основным геологическим условиям, влияющим на образование провалов, то необходимо определить границы этих участков, рассчитать для них среднее значение интенсивности провалов, а затем в пределах каждого участка трансформировать поле провалов в поле их плотности.

При этом количество точек измерений плотности провалов на единицу площади выбирается согласно общему количеству точек наблюдений в масштабе исследования при инженерно-геологических изысканиях в сложных условиях, что позволяет добиться одинаковой информативности полей плотности и других видов инженерно-геологических данных и дает возможность их корректного сопоставления и совместной обработки.

Если в пределах участка, однородного по основным геологическим условиям, влияющим на образование провалов, существуют зоны, характеризующиеся нулевым значением плотности, хотя образование провалов в них возможно, то выбирают такой радиус кружка, чтобы любая точка участка характеризовалась бы каким-либо значением плотности провалов, отличным от нуля. Эта операция сравнительно легко выполняется методом подбора.

Если степень геологической изученности территории недостаточна для выделения однородных участков, то рекомендуется на участке исследования определять границу потенциально опасной зоны, вне пределов которой вероятность образования провалов незначительна. Критерием выделения такой границы служит какой-либо геологический фактор, влияние которого на образование провалов наибольшее по сравнению с другими факторами. В большинстве случаев критерием может служить мощность закарстованной зоны (сумма мощностей заполненных и незаполненных карстовых полостей, разрушенных и сильно трещиноватых зон), которая является суммой большинства геологических факторов, влияющих на образование провалов. Для определения границы потенциально опасной зоны строят карту выбранного фактора в изолиниях и график изменения плотности провалов, рассчитанной в каждом интервале изолиний в зависимости от величины фактора. Это позволяет определить значение фактора, соответствующее нулевому значению плотности, а следовательно, и границе потенциально опасной зоны. В пределах этой зоны проводят трансформацию поля провалов, количество точек измерения и радиус кружка выбирают в соответствии с приведенными рекомендациями.

Если геологическая изученность территории и участка исследований недостаточна или отсутствует, рекомендуется определять границу потенциально опасной зоны, используя математическую модель, предложенную исследователями из ГДР Ф. Ройтером (*F. Reuter*), Д. Стояном (*D. Stoyan*) и П. Олейкевичем (*P. Oleikewitz*). Граница зоны определяется радиусом влияния R_B , оконтуривающим поле провалов. Доказано, что вероятность образования провалов в пределах выделенной зоны намного выше, чем вне ее. Радиус R_B находят через функцию $D(r)$, которая представляет собой количество пар провалов с расстоянием между ними меньше r . Функция $D(r)$ имеет следующий вид:

$$D(r) = \begin{cases} 0 & \text{при } r \leq R_0; \\ a_1 + b_2 r^2 & \text{при } R_0 < r \leq R_B; \\ a_1 + b_2 r^2 & \text{при } r > R_B, \end{cases}$$

где a_1, b_1, a_2, b_2 — эмпирические коэффициенты; R_0 — наименьшее расстояние между провалами.

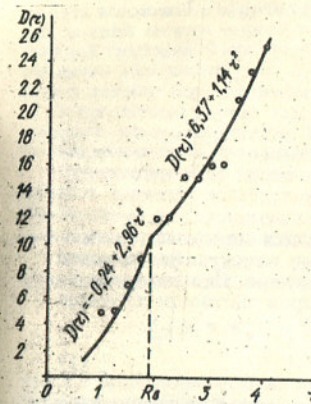


Рис. 5. Пример определения "радиуса влияния"

Радиус R_B есть абсцисса точки пересечения двух парабол. Например, для поля провалов (см. рис. 1, прил. 3) функция $D(r)$ представлена на рис. 5.

Во всех вариантах трансформации поля провалов в поле их плотности должно выполняться соотношение (1).

Методы определения направления провального процесса и ориентации поля провалов

Направление провального процесса рекомендуется определять по относительному возрасту провалов путем визуального осмотра. Все провалы разделяются по возрасту на старые, молодые, свежие. Для каждой возрастной градации рассчитывают координаты центров плотности провалов по формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (1)$$

где x_i, y_i — координаты i -го провала данной возрастной градации; n — количество провалов данной возрастной градации.

Эти центры на карте последовательно (от старой градации к молодой) соединяются стрелками, указывающими направление провального процесса. При этом в каждой возрастной градации должно быть не менее шести провалов. Пример определения направления провального процесса представлен на рис. 1.

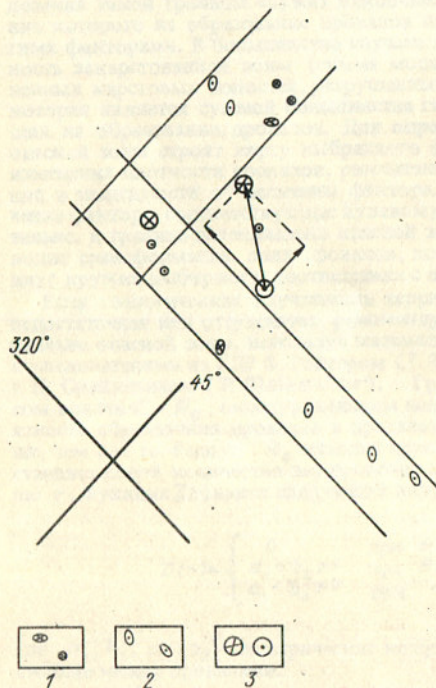


Рис. 1. Пример определения направления провального процесса
1 — молодые провалы; 2 — старые провалы; 3 — центры плотности молодых и старых провалов

Если центры плотности провалов различных возрастных градаций находятся в непосредственной близости или совпадают, рекомендуется оценивать возможное направление провального процесса с помощью средних расстояний между точкой совмещения центров плотности и провалами в каждой градации. Если среднее расстояние для молодых провалов меньше среднего расстояния для более старых провалов, то провальный процесс имеет направление к совмещенному центру плотности.

В противном случае провальный процесс имеет направление от совмещенного центра плотности. Если средние расстояния близки по величине, то направленность провального процесса отсутствует.

Ориентация поля провалов — это направление, вдоль которого группируются провалы исследуемого поля. Определение азимутов ориентации необходимо для выявления факторов, влияющих на распределение провалов и уточнения направления провального процесса.

Азимуты ориентации рекомендуется определять посредством трех функций ориентации, имеющих общий вид:

$$f_1(\theta) = N; \quad f_2(\theta) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{r_i} \right)^2; \quad f_3(\theta) = N \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{r_i} \right)^2, \quad (2)$$

где N — количество всех возможных пар провалов; r_i — расстояние между провалами в каждой паре.

Функции ориентации определяются в каждом интервале азимута с последующим построением роз-диаграмм. При этом рекомендуется выбирать интервал, равный 10° , с измерением азимута с точностью до 1° . Для определения значений функций ориентации измеряют азимуты и длины всех возможных линий, соединяющих провалы попарно, и рассчитывают значения функций в каждом интервале.

Значение функции $f_1(\theta)$ в каком-либо интервале азимута выражается количеством линий, соединяющих провалы попарно (т.е. количество пар провалов) и имеющих азимуты, соответствующие данному интервалу. Эта функция не учитывает величину расстояния между провалами. Поэтому одинаковое количество пар провалов с различными расстояниями между ними дает одинаковое значение функции $f_1(\theta)$ в различных интервалах азимута. Вместе с тем более близкое расположение провалов при прочих равных условиях должно определять наиболее вероятное направление ориентации поля провалов.

Функция $f_2(\theta)$ учитывает как количество пар провалов, так и расстояние между провалами. Величина ее в каком-либо интервале азимута выражается суммой квадратов значений обратных расстояний для всех пар провалов, которые имеют азимуты соединяющих линий, соответствующих данному интервалу. В случае, когда какой-либо интервал характеризуется одной парой провалов, расположенных очень близко, величина функции $f_2(\theta)$ будет значительна. Вместе с тем близкое расположение всего двух провалов может быть случайным и не отражать действительного направления ориентации поля провалов.

Функция $f_3(\theta)$, являющаяся произведением функций $f_1(\theta)$ и $f_2(\theta)$, лишена недостатков рассмотренных функций. Розы-диаграммы всех функций ориентации для поля провалов представлены на рис. 2.

Поскольку количество вероятных направлений ориентации поля провалов для каждой функции может быть большим, то выделение главных направлений ориентации по какой-либо одной функции затруднительно.

Рекомендуется главные направления ориентации поля провалов определять с учетом всех функций. Для этого по розам-диаграммам рассчитывают среднее значение $f(\theta)$ и среднеквадратическое отклонение σ_f для каждой функции и оценивают в баллах возможные азимуты ориентации поля провалов. Баллы присваиваются следующим образом:

при $\bar{f}(\theta) \leq f(\theta) < \bar{f}(\theta) + \sigma_f$ значение функции $f(\theta)$ соответствует 1 баллу;
при $\bar{f}(\theta) + \sigma_f \leq f(\theta) < \bar{f}(\theta) + 2\sigma_f$ — 2 баллам;

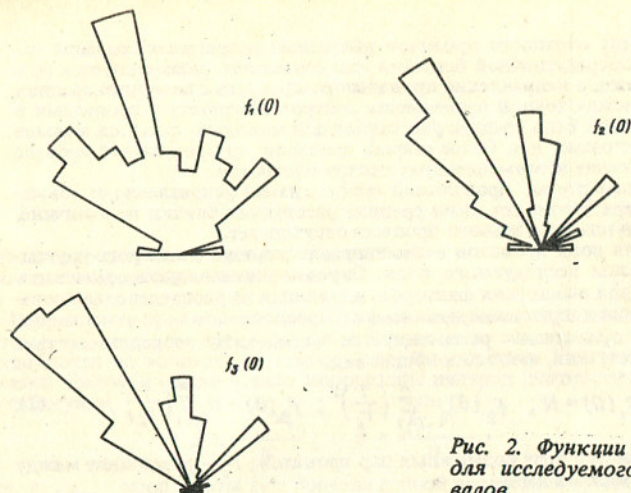


Рис. 2. Функции ориентации для исследуемого поля провалов

при $\bar{f}(0) + 2\sigma_f \leq f_0 < \bar{f}(0) + 3\sigma_f$ — 3 баллам;
 при $\bar{f}(0) + 3\sigma_f \leq f_0$ — 4 баллам.

Результаты такой оценки для рассматриваемого примера представлены в таблице.

Интервалы азимутов ориентации, град	Оценка значений функций ориентации, баллы			Сумма баллов
	$f_1(0)$	$f_2(0)$	$f_3(0)$	
0-9	0	1	1	2
10-19	1	0	0	1
20-29	1	0	0	1
40-49	1	1	1	3
300-309	1	1	1	3
310-319	2	2	3	7
320-329	1	3	3	7
330-339	1	0	0	1
340-349	3	0	1	4
350-359	1	2	1	4

Выбор главных направлений ориентации, которые рекомендуется выносить на карту, должен определяться общим количеством баллов. В рассматриваемом примере главные направления ориентации поля провалов характеризуются средними азимутами СВ 45° и СЗ 320°.

Рекомендуется определять факторы, влияющие на ориентацию поля провалов. В рассматриваемом примере такими факторами являются тектонические нарушения, азимуты которых в целом соответствуют азимутам ориентации поля провалов. В этом случае возможно определение веро-

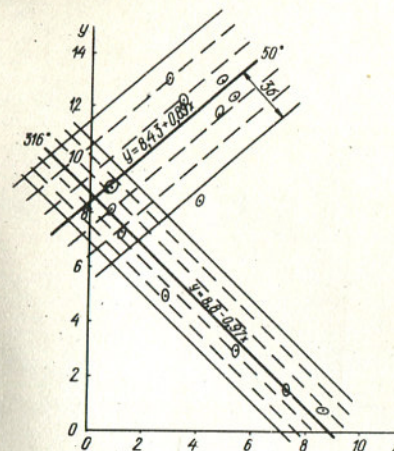


Рис. 3. Пример определения границ полос распространения провального процесса

ятных границ распространения провального процесса путем выделения полос распространения провалов. Границы этих полос определяются линиями, проходящими через крайние провалы согласно основным азимутам ориентации (см. рис. 1). Рекомендуется уточнять азимуты ориентации провалов в каждой выделенной полосе и вероятные границы распространения провального процесса следующим образом. Для провалов в пределах каждой полосы определяют линию ориентации провалов с аппроксимацией ее по формуле

$$y = a + bx,$$

где a, b — эмпирические коэффициенты. Затем рассчитывают среднее расстояние от этой линии до провалов (\bar{r}) и среднеквадратическое отклонение (σ_r). Вероятные границы распространения провального процесса определяют интервалами $\pm 3\sigma_r$. Пример расчетов представлен на рис. 3. В данном примере около 40% провалов практически совпадает с линиями ориентации поля провалов, а 92% находятся в пределах выделенных полос, что указывает на правомерность выделения таким методом полос распространения провалов.

Сведения об ориентации поля провалов позволяют уточнить направления провального процесса. Для этого общее направление провального процесса раскладывается на составляющие согласно азимутам ориентации поля провалов (см. рис. 1 прил. 2). Данные по ориентации поля провалов и направлениям провального процесса могут быть использованы для относительной оценки карстоопасности участков и выбора рациональных планировочных решений. В частности, при прочих равных условиях не рекомендуется размещать сооружения в пределах выделенных полос развития карста, а также в примыкающих к полосам зонах, куда направлен провальный процесс. В пределах самих полос наиболее опасной является зона, которая находится по направлению провального процесса дальше относительно других зон и зоны пересечения полос. Данные Рекомендации справедливы и для зон, однородных по плотности провалов.