

## ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ ДОСПІДЖЕННЯ

УДК 551.435.8

**Е.Н. Суховий**

### МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ КАРСТОВЫХ ФОРМ (НА ПРИМЕРЕ МАССИВА ОРТА-СЫРТ В КРЫМСКИХ ГОРАХ)

**О.М. Суховій**

#### МОРФОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОВЕРХНЕВИХ КАРСТОВИХ ФОРМ (НА ПРИКЛАДІ МАСИВУ ОРТА-СИРТ У КРИМСЬКИХ ГОРАХ)

*Институт географії НАН України, Київ*

Дано детальну характеристику поверхневих карстових форм масиву Орта-Сирт у Кримських горах. Увага приділялась морфометричним характеристикам поверхневих карстових форм: діаметр, об'єм, глибина, щільність та площа. На основі кожного показника було створено карту. Загалом було зроблено та проаналізовано п'ять карт. Встановлено, що масив Орта-Сирт має два гіпсометричні рівні, найбільш закарстованим є верхній рівень. Найглибші карстові лійки приурочені до зони розлому чи тріщини, максимальна закарстованість спостерігається у центральній частині масиву. Ці дані є цінним джерелом інформації про умови розвитку поверхневих карстових форм рельєфу.

**Ключові слова:** Кримські гори; карст; карстові форми рельєфу; морфометричне картографування.

**H.Sukhoviy**

#### MORPHOMETRIC ANALYSIS OF SURFACE KARST FORMS (BY THE EXAMPLE OF ORTA-SIRT MASSIF IN CRIMEAN MOUNTAINS)

*Institute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

The detailed characteristics of surface karst forms of massif Orta-Sirt in Crimean Mountains. Attention was paid to morphometric characteristics of surface karst forms: diameter, volume, depth, density and square. On the basis of each indicator was created a map. Overall it was done and analyzed five maps. Its ascertained, that array Orta-Sirt massif has two hypsometric levels, the most karst of them is upper level. The deepest sluggies are concerned with fractures zone. The most karst is in central part of massif. These data is a valuable source of information on the conditions of surface karst forms of relief development.

**Keywords:** Crimean Mountains, karst, karst landforms; morphometric mapping.

Горно-карстовий масив Орта-Сырт – один из самых малоизученных карстовых массивов Крымских гор. В геологической и карстолого-спелеологической литературе он изредка упоминается в составе то Долгоруковского, то массива Караби как небольшой платообразный участок, ограниченный долинами рек Бурульча и Суат. Детальные геологические исследования, как следует из анализа опубликованной литературы, здесь не проводились, а в результате карстолого-спелеологического изучения, проведенного Комплексной карстовой экспедицией (ККЭ) в 60-х гг. XX в., были выявлены лишь несколько незначительных карстовых полостей, что не дает целостного представления об условиях и масштабах развития карстовых процессов в пределах этого массива.

Массив Орта-Сырт расположен в верховьях междуречья рек Бурульча и Суат. На востоке от соседнего горного массива Караби он отделен обрывами и крутыми склонами долины реки Суат, на юге ограничен балкой, простирающейся параллельно дороге на Суат, на севере его продолжением является хребет Яман-Таш, далее он постепенно понижается до слияния рек Суат

и Бурульча. Долина реки Бурульча ограничивает массив Орта-Сырт на западе. Средняя высота рельефа около 800-900 м над уровнем моря. В целом массив Орта-Сырт вытянут в северном направлении; максимальная протяженность с юга на север составляет 11,6 км, ширина с запада на восток изменяется от 360 м на севере до 2 км на юге, максимальная в среднем течении рек Бурульча и Суат – 2,7 км. Площадь массива составляет 16,45 км<sup>2</sup>. В административном плане участок относится к Белогорскому району АРК.

В пределах массива прослеживается два гипсометрических уровня. Верхний уровень – это урочище Орта-Сырт, расположенное в южной части массива, максимальная высота немного превышает 1025 м, минимальная - менее 425 м, средняя – 900 м над уровнем моря. Эта, наиболее закарстованная часть массива, представляет собой в основном безлесное, каменистое плато с многочисленными каровыми полями, воронками, котловинами, скальными выходами. Именно этот верхний гипсометрический уровень массива Орта-Сырт является наиболее закарстованной частью.

Нижний гипсометрический уровень массива находится в его северной части, имеющей название хребет Яман-Таш. На этом уровне максималь-

Таблица 1. Плотность поверхностных карстовых форм и коэффициент закарстованности массива Орта-Сырт

Гипсометрический уровень, м. н.у.м.	Площадь, км <sup>2</sup>	Количество карстовых форм, шт.	Площадь воронок, км <sup>2</sup>	Плотность, воронок $\Phi$ , шт./км <sup>2</sup>	Коэффициент закарстованности $K_n$
>1000	1,24	-	-	-	-
1000-950	2,95	13	0,1	4,4	0,034
950-900	2,96	52	0,8	17,57	0,27
850-900	2,06	25	0,3	12,13	0,14
800-850	2,12	1	0,002	0,5	0,001
750-800	1,44	1	0,003	0,7	0,003
700-750	1,07	-	-	-	-
650-700	0,81	-	-	-	-
600-650	0,59	-	-	-	-
550-600	0,62	-	-	-	-
500-550	0,46	-	-	-	-
450 и <	0,13	-	-	-	-
Всего:	16,45	92	1,2	35,3	0,448

ная высота составляет 830 м. На верхнем уступе размещается основная масса карстовых образований и пещер.

В геологическом строении массива Орта-Сырт, как и соседних массивов Караби и Долгоруковско-го, принимают участие породы двух структурных этажей, разделенных резким угловым несогласием. Нижний структурный этаж образован практически водоупорными песчано-глинистыми отложениями таврической серии, верхний – песчаниками, конгломератами и известняками верхнеюрского возраста.

Главной задачей исследования рельефа массива Орта-Сырт было составление качественной и количественной характеристики поверхностного закарстования. Для этого в полевых условиях был произведен подсчет количества поверхностных карстовых форм, изучены их параметры (диаметр, глубина) и ориентировка, следующий этап – анализ распределений поверхностных форм на разных гипсометрических уровнях (таблица 1).

Одним из основных способов географического анализа развития поверхностных форм карста является картографирование его морфометрических показателей, отражающих различные эво-

люционные аспекты и современные геодинамические тенденции. В связи с этим особый интерес представлял анализ пространственного распределения таких показателей как плотность, глубина, диаметр, площадь и объем поверхностных карстовых форм.

Было создано 5 новых карт, на которых отображены результаты полевых исследований и камеральных расчетов.

**Карта плотности воронок** иллюстрирует интенсивность развития поверхностных карстовых форм и характер размещения на поверхности массива Орта-Сырт, а также дает возможность показать благоприятные и неблагоприятные участки для карстовых процессов и оценить их интенсивность (рис.1).

В соответствии с разработками П. Уильямса [5] и А.Б. Климчука [2] карстовые воронки развиваются в приповерхностной зоне аэрации, где наблюдается максимальная трещиноватость карстовых пород, находятся хорошо проводящие воду спелеоиницирующие разломные участки, каналы растворения и эмбриональные полости. Они играют роль индикаторов, указывающих на присутствие подземных карстовых форм, и могут

использоваться для прогноза последних.

Карта плотности воронок строится на основе топографической карты масштаба 1:50 000, на которую вынесены карстовые воронки. Результаты, полученные при построении карты плотности карстовых воронок и котловин, показывают довольно простую конфигурацию изолиний с одним мощным и одним незначительным максимумами.

Установлено, что максимальные значения плотности приурочены к южной части массива и составляют более 40 шт./км<sup>2</sup>. В северном направлении плотность карстовых воронок и котловин уменьшается относительно плавно. Высокие показатели плотности, вероятно, связаны с положением в пределах залесенного участка плато, где буковый лес обеспечивает равномерное накопление снега в зимнее время, когда он, перераспределяясь в ходе ветрового (метелевого) переноса, попадает в ветровую тень более высокого массива Караби. Плотный древостой способствует более длительному и равномерному стаиванию снега весной, сохранению влаги в летнее время и, тем самым, удлинению времени карстообразования в целом.

Второй незначительный (10-20 шт./км<sup>2</sup>) максимум плотности приурочен к центральному участку плато. Отсутствие здесь леса, при других равных с южным участком условиях, подчеркивает важную роль лесных угодий в карстовом морфогенезе.

Площадь с максимальной плотностью карстовых воронок, где их количество превышает 40 шт./км<sup>2</sup>, составляет 0,2 км<sup>2</sup> (1,2% от общей площади поверхности массива). На зоны с плотностью 30-40, 20-30 и 10-20 форм на 1 км<sup>2</sup> приходится соответственно 0,8 км<sup>2</sup>, 1,7 км<sup>2</sup>, 3,2 км<sup>2</sup>, что составляет соответственно 4,8%, 10%, 19,5% от общей площади массива. Большая часть площади плато (10,55 км<sup>2</sup>, 64%) характеризуется наименьшей плотностью воронок (менее 10 шт./км<sup>2</sup>).

Известно, что карта плотности воронок является не единственным критерием закарстованности массива, поэтому дополнительно используют и другие картографические способы. Неодинаковая плотность закарстованности свидетельствует о том, что массив сложен различными текстурными типами известняков. Северная часть, где практически отсутствуют воронки, сложена менее карстующимися тонкоплитчатыми и листоватыми известняками, а наиболее закарстованные южная и северная части сложены толстослоистыми и среднеплитовыми известняками, которые наиболее поддаются карстованию [3].

**Карта распределения средних диаметров воронок.** Средний диаметр воронки представляет собой полусумму длин короткой и длинной осей, что, без учета глубины, показывает степень

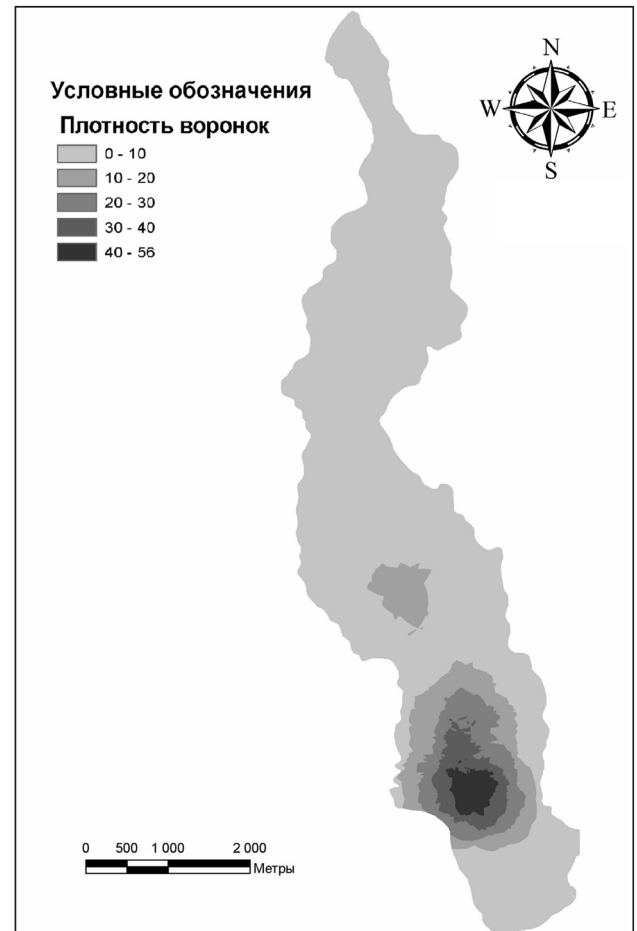


Рис. 1. Карта плотности карстовых воронок массива Орта-Сырт

благоприятности роста формы в ширину. Если днище воронки закольцовано, например глинами, форма начинает расти в ширину за счет отступления стенок. В целом такая ситуация в Крыму характерна для пассивных стадий развития карста, когда из-за недостаточного количества поверхностных вод глинистый заполнитель не выносится через поноры и подземные каналы в недра и за пределы массива. Для воронок, развивающихся по активной схеме, средний диаметр может быть невелик, характерно отсутствие покровных отложений в днище и наличие открытых поноров или подземных форм. Вертикальная составляющая карстования здесь значительно превалирует над горизонтальной.

Средний диаметр воронок может служить косвенным показателем их возраста - чем он больше, тем при прочих равных условиях, древнее воронка.

Авторы эпикарстовой концепции высказывают мнение, что диаметр воронок является индикатором размеров депрессионной воронки эпикарстовых вод вокруг поглощающего канала подземной карстовой формы [5, 2].

Таким образом, конфигурация изолиний сред-

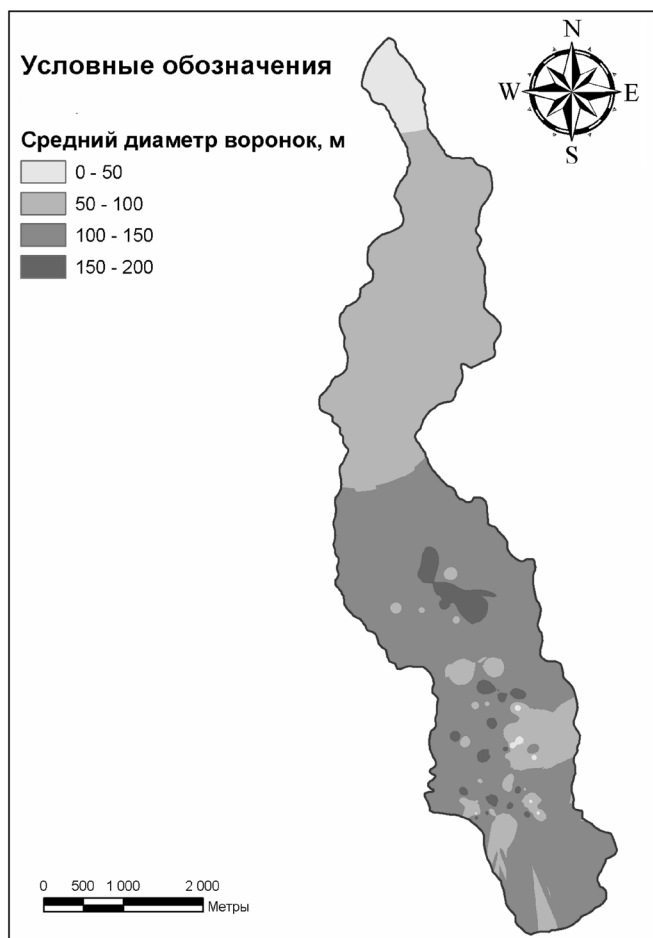


Рисунок 2. Карта распределения средних диаметров воронок

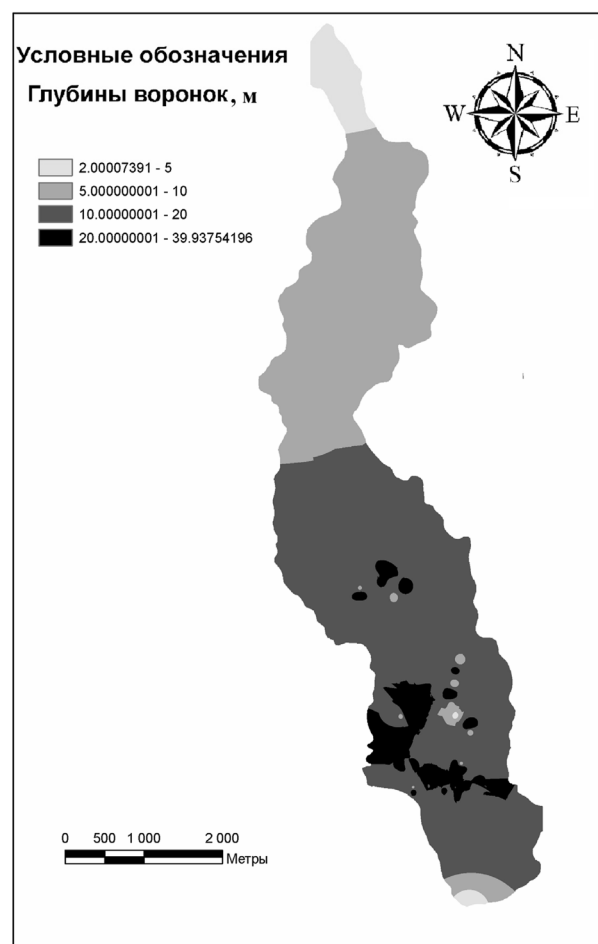


Рисунок 3. Карта распределения средних глубин воронок

них диаметров воронок позволяет выявлять участки местности с различной активностью и направленностью карстовых процессов, зоны унаследованного развития форм, уточнять их относительный возраст и генетические аспекты.

Карта распределения средних диаметров воронок (рис. 2) построена в программе ArcMap по методу обратно взвешенных расстояний (ОВР). Согласно этому методу, влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера. При построении использовался переменный радиус поиска, индивидуальный для каждой ячейки, зависящий от того, как далеко от каждой ячейки удастся найти заданное число точек. По аналогичной методике были построены и последующие карты.

Анализ карты распределения средних диаметров воронок показал, что средний диаметр карстовых воронок на массиве составляет 115 м. Область максимальных значений (более 150 м) находится в центральной части плато, значения диаметров менее 100 м на севере и востоке соответствует молодым воронкам, заложение которых связано с нивацией, так как восточная часть самая холодная

и не защищенная от ветров, приносящих снег. Области со значениями диаметров более 150 м маркируют более древние воронки, развитие которых связано с безлесными участками плато. Возможно, эти воронки развивались в прошлом под лесным покровом.

**Карта распределения средних глубин воронок.** Глубина форм рассматривается как показатель интенсивности вертикальной составляющей процесса карстования. Чем больше глубина воронки, тем она ближе по морфометрическим показателям к вертикальным подземным формам. Критерием перехода от поверхностной к подземной форме являются известные [4] соотношения между глубиной, высотой и шириной входа. Очень важные сведения для прогноза спелеоформ дает совместный анализ карт, изображенных на рисунках 2 и 3. При наложении их друг на друга представляется возможным выделить участки, на которых минимальным значениям средних диаметров воронок будут соответствовать максимальные величины их средних глубин. Такие участки наиболее перспективны для поиска и разведки спелео-

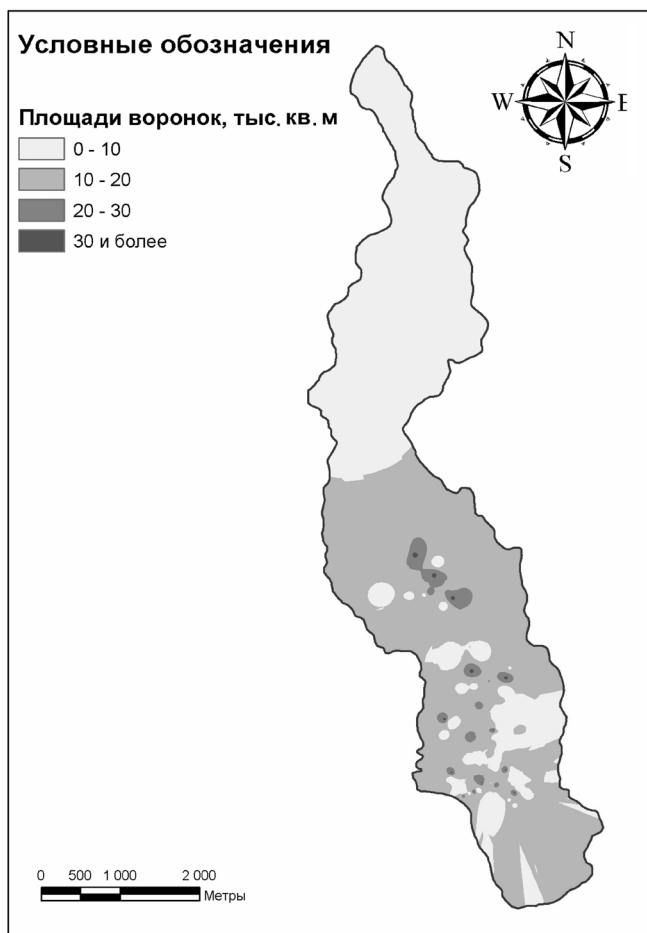


Рисунок 4. Карта поверхностной площадной закарстованности

форм. Глубина воронок была рассчитана для участков плато площадью 1 км<sup>2</sup> (рис 3).

Среднее значение глубины карстовых воронок на массиве составляет 11,6 м. Большое влияние на распределение глубины оказывает литология известняков и тектоническая раздробленность массива. Другой фактор – развитие массива в составе некогда единого Долгоруковско-Карабийского блока. Увеличение глубин воронок наблюдается с запада на восток. Это подтверждает региональное направление трещиноватости и ориентацию линейно вытянутых обрывистых уступов на плато.

Значение средней глубины карстовых воронок играет важную индикаторную роль в определении мощности эпикарстовой зоны и является показателем перехода от рассеянного приповерхностного питания к концентрированному.

Как показали исследования, в целом по массиву показатель средней глубины воронок, или мощности эпикарста на массиве Орта-Сырт составляет 10-20 м, а среднее значение, определенное по морфометрическим данным, – 11,6 м.

**Карта поверхностной площадной закарстованности** (рис. 4) позволяет выявлять территории с максимальной и минимальной концентрацией участков поверхностного закарстования. В отличие от карты плотности карстовых форм, где анализируется концентрация самих воронок, карта закарстованности характеризует распределение площадей карстования и дает более точное представление о процессе в целом. Зоны с максимальными значениями площадей закарстованности (без учета влияния глубин) можно интерпретировать как слабоперспективные для глубинного закарстования, то есть в них преобладает латеральное развитие карстового процесса. Если же для конкретной территории дополнительно учитывать также распределение средних глубин (рис. 3), то совпадение зон максимальных значений обоих показателей свидетельствует о высокой активности карстовых процессов в целом и равенстве сил вертикальной и горизонтальной составляющих карстогенеза.

Изолинии карты поверхностной площадной закарстованности имеют конфигурацию средней сложности. Среднее значение площадной закарстованности для массива Орта-Сырт составляет 12000 м<sup>2</sup>/км<sup>2</sup>, максимальное – 31400 м<sup>2</sup>/км<sup>2</sup>. Область максимальной площадной закарстованности расположена в центральной части плато. Ось ареала с максимальными значениями закарстованности вытянута в субмеридиональном направлении. Существенное изменение показателей связано с резким уклоном топографической поверхности от центральной части массива Орта-Сырт к северному отрогу – хребту Яман-Таш. Фоновые значения площадной закарстованности на платообразном участке массива составляют 10-20 тыс.м<sup>2</sup>, для наклонных поверхностей – менее 10 тыс.м<sup>2</sup>.

Расположение зоны максимальных значений может быть объяснено несколькими причинами. Главная – это хорошая обводненность участка в прошлом, когда здесь предположительно располагался лесной массив с большим увлажнением поверхности, чем на современном этапе. Другая причина – совпадение максимальных показателей площадной закарстованности с зонами развития толстослоистых известняков.

**Карта поверхностной объемной закарстованности** (рис.5) характеризует распределение на конкретной территории объемов, вынесенных с поверхности растворенных известняков. В отличие от предыдущих карт, она дает интегральную оценку поверхностной закарстованности, не выделяя преимуществ вертикальной и горизонтальной составляющих. Среднее значение объемной закарстованности для массива составляет 83000 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>, максимальное – 366000 м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>. Область макси-



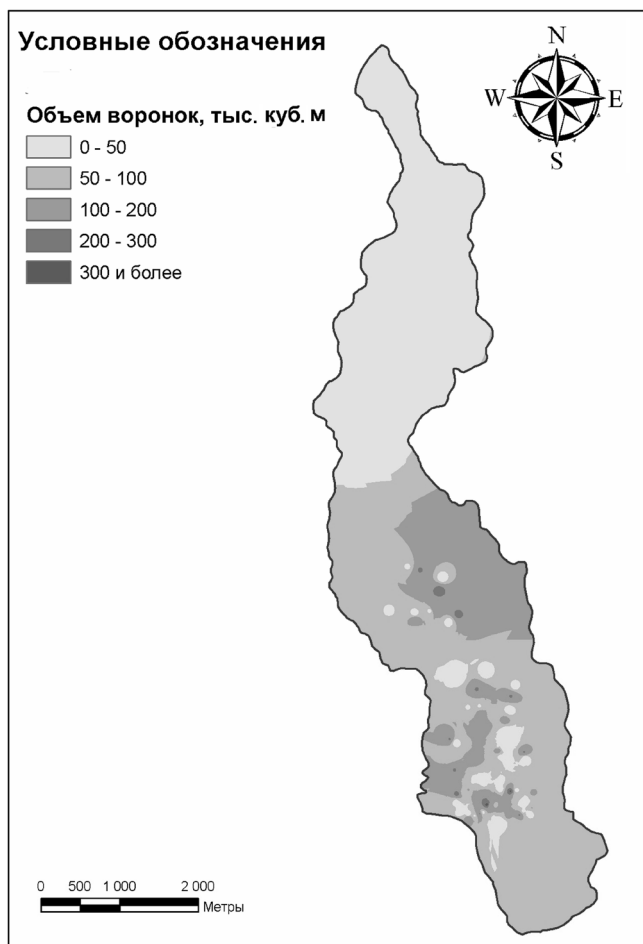


Рисунок 5. Карта поверхностной объемной закарстованности

мальной объемной закарстованности расположена, также как и аналогичный участок площадной закарстованности, в центральной части плато. Ось минимальной вариации значений (ось стабильности) имеет сходное субмеридиональное простирание.

Градиентные характеристики подчиняются примерно тем же закономерностям, что и по предыдущей карте.

Соответственно, аналогичным будет и объяснение причин размещения зон максимальных и минимальных значений показателя. Из этого следует, что глубина воронок не играет существенной роли в объемной закарстованности поверхности.

### Выводы

1. Массив Орта-Сырт, как и все массивы Крымских гор, имеет 2 гипсометрических уровня: верхний и нижний. Наиболее закарстованной частью массива является верхний гипсометрический уровень, что связано со значительной залесенностью, литологией и тектонической раздробленностью.

2. Воронки наибольшей глубины расположены цепочкой субмеридионального направления в северной части массива, что, скорее всего, свидетельствует об их приуроченности к зоне крупного разлома или трещины, проходящей через эту часть массива.

3. Максимальная площадная и объемная закарстованность наблюдается в центральной части массива. Развитие крупных поверхностных карстовых форм (диаметр 100 м и более) в условиях небольшой площади водосбора может свидетельствовать о том, что массив Орта-Сырт ранее был частью более крупного карстового массива, в последствии разбитого речными долинами на несколько отделенных массивов.

4. Различная плотность закарстованности массива свидетельствует о том, что он сложен неодинаковыми по текстуре известняками: в северной части тонкоплитчатые и листоватые известняки, а в южной и центральной части толсто-слоистые или среднеплитовые известняки.

В заключении можно отметить, что картографические материалы, отражающие пространственное распределение отдельных морфометрических показателей карстовых воронок (глубины, диаметра, площади, объема), являются ценным источником информации, дающим представление об условиях развития поверхностных карстовых форм на массиве Орта-Сырт.

1. Амеличев Г.Н. Морфометрический анализ карста на нижнем плато массива Чатырдаг ( Горный Крым) // «Свет». – К., 2007.- Выпуск 32. – С. 16 – 21.
2. Климчук А.Б. Роль приповерхностной зоны карстовых массивов в гидрогеологии и морфогенезе карста. – К., 1989. – 44 с. – (Препринт / АН УССР, ин-т геологических наук; 89-34).
3. Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Амеличев Г.Н., Шутов Ю.И. Красная пещера. Опыт комплексных карстологических исследований. – М.:Изд-во РУДН, 2002. – 190 с
4. Проблемы изучения карстовых полостей гор южных областей СССР. – Ташкент: ФАН, 1983. – 148 с.
5. Williams P.W. The role of the subcutaneous zone in karst hydrology И J.of hydrology, 1983. – V.61. – P. 17–21.