

РАЗДЕЛ 4.
ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

УДК 551.8(551.435.83/551.435.1)

**МЕТОДЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ
ДРЕВНЕЙ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ
ГИС НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНЫХ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР**

Кунов А. А.¹, Вахрушев Б. А.²

*^{1,2}Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Симферополь, Российская
Федерация
E-mail: ¹kunovaleksej@gmail.com, ²vakhb@inbox.ru*

В работе проведен анализ развития и эволюции гидрологической системы Восточной группы яйл Главной гряды Крымских гор, имеющих прямое влияние на процессы карстообразования и формирования современного карстового рельефа района изучения. Исследование проведено с помощью создания цифровой модели рельефа, классических методов моделирования показателя горизонтальной расчлененности рельефа, установления русел древней эрозионной сети средствами ГИС, а также анализа уже имеющихся материалов по исследованию аллювиальных отложений прошлых геологических эпох изучаемого района.

Ключевые слова: карстовый рельеф, цифровая модель рельефа, горизонтальное расчленение рельефа, эрозионная сеть, гидрологическая система, палеогеография, аллювиальные отложения, ГИС, дешифрирование спутниковых снимков.

ВВЕДЕНИЕ

Существующие на Земле природные условия, проявляясь через процессы и факторы рельефообразования, обуславливают нахождение и даже взаимопроникновение на одной территории большого количества генетически разнообразных форм рельефа.

При региональном геоморфологическом анализе [1] ситуация осложняется еще и тем, что одни и те же факторы могут создавать условия протекания разных по генезису рельефообразующих процессов. Например, наличие движущихся вод- одно из четырех условий развития карста, но в то же время. это и неперемное условие для проявления линейной эрозии. Возникшие в результате этого парагенетических взаимодействий между карстовыми и речными флювиальными процессами и образованными ими формами рельефа как в пространстве, так и во времени являются важным инструментом палеогеографических реконструкций карстового рельефа.

Предшествующие исследования палеогеографических особенностей развития карста Главной гряды Крымских гор неоднократно поднимали вопрос о генезисе и условиях формирования галечниковых осадочных образований и нижнемеловых глин на яйлинских плато и склонах карстовых массивов Чатыр-Даг,

Долгоруковском и Караби входящих в составе Восточной группы яйл Крымских гор [2, 3, 4, 5,].

Работы [6, 7], достаточно обоснованно доказывают природу песчано-галечниковых отложений, на нижних плато яйл, как автохтонных аллювиальных толщ, сформированных в речных долинах древней гидрологической системы карстовых массивов, которая развивалась, как сеть постоянных водотоков позднемiocен- плиоценового периода, заложенных в нижнемеловых песчано-глинистых породах, перекрывавших верхнеюрские карстующиеся известняки. В последующем, достигнув карстующихся пород и потеряв часть стока, за счет поглощения в карстовые поноры, эрозионная сеть распалась на ряд замкнутых карстовых коррозивно-эрозионных котловин и долин. Песчано-галечниковые отложения, накопившиеся в речных долинах, были спроектированы на современный рельеф карстовых плато.

Для подтверждения данной модели развития яйлинского рельефа и выяснения особенностей парагенетических взаимодействий карст-эрозия и аллювиальная аккумуляция, авторами была разработана и апробирована методика восстановления древней эрозионной сети инструментами GIS с использованием файлов космической съемки SRTM. Построенная цифровая модель современного рельефа подвергалась «сглаживанию» фильтрами программы SAGA GIS [8], до тех пор, пока степень «сглаживания» рельефа не позволила объединить распавшуюся древнюю гидрографическую сеть яйл в единую систему поверхностного стока (рис. 1, 2), для каждого из изученных карстовых массивов. На нижнем плато карстового массива Чатыр-Даг она совпала в своем пространственном положении с полями достаточно мощных аллювиальных галечниковых отложений (рис. 1), подтверждая, тем самым их как остаточные фрагменты древних террасово-русловых комплексов.

В виду вышеперечисленных особенностей развития эрозионной системы и ее роли в формировании карстового рельефа Восточной части Главной гряды Крымских гор, авторами предложена методика палеогеографической реконструкции древних гидрологических систем районов распространения открытого типа карста, с целью анализа закономерностей формирования карстового рельефа.

МЕТОДИКА ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ ГИС НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОЙ ГРУППЫ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР

Методика проведения работы разделена на несколько этапов, связанных с созданием установочных и заключительных специализированных картосхем. На первом этапе выполнялся анализ действующей эрозионной сети карстовых массивов и построение картосхемы горизонтального расчленения района исследования. На втором этапе проводилась палеогеографическая реконструкция позднемiocен- плиоценовой речной сети средствами ГИС, а также установление связи поверхностных и подземных карстовых форм с полученной схемой палеорусел древних временных и постоянных водотоков.

МЕТОДЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ
ДРЕВНЕЙ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ ГИС
НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНЫХ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР

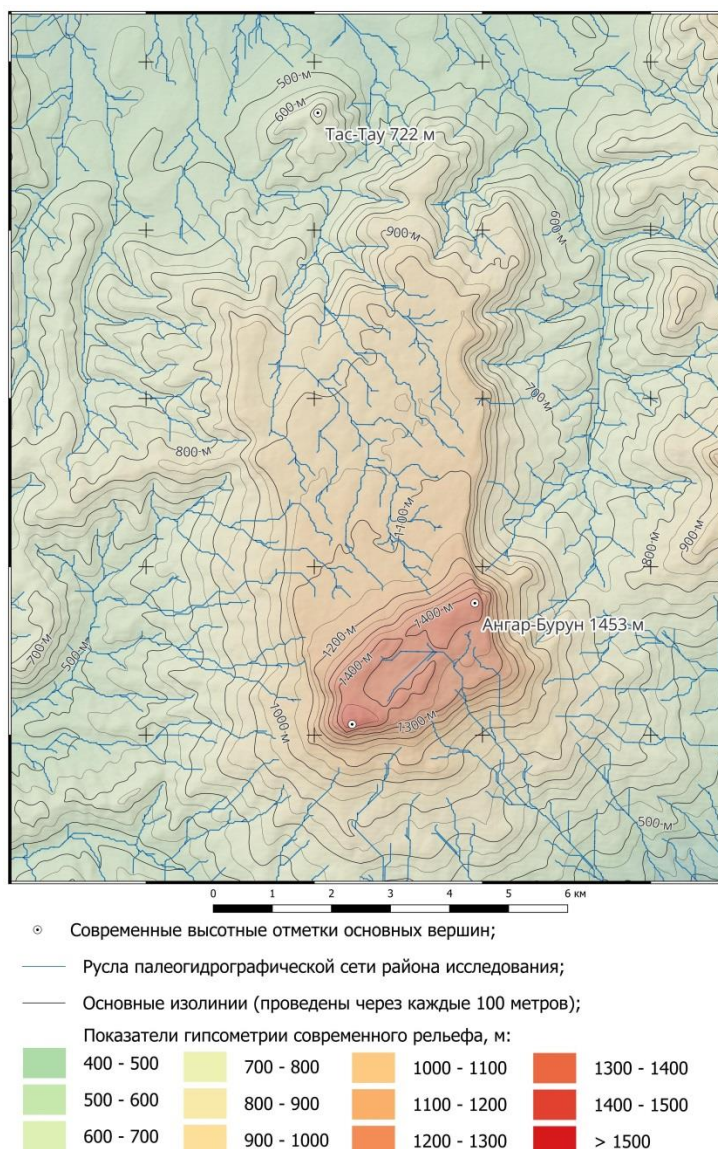


Рис. 1. Древняя гидрографическая сеть карстового массива Чатыр-Даг, восстановленная фильтрами программы SAGA GIS по файлам спутниковой съемки SRTM.

Составлено авторами.

На первый этап пришлось следующие работы:

1. Составление цифровой модели рельефа исследуемой территории.
2. На основе полученной цифровой модели рельефа составлялась картосхемы действующей эрозионной сети группы Восточных яйл Главной гряды Крымских

гор. Данные работы проводились с использованием космических снимков и программ SAGA и QGIS.

3. Полученная картосхема действующей эрозионной сети, включающая как временные, так и постоянные водотоки, стала основой определения показателей горизонтального расчленения района исследования [9, 10]. Это позволило получить представление о направлении сноса и накопления аллювиально-пролювиального материала, а также песчано-глинистых пород, перекрывших юрские известняки в меловой период.

На втором этапе выполнялась палеогеографическая реконструкция древних русел позднемиocen-плиоценовой гидросети исследуемого района, которая состояла из следующих работ:

1. Реконструкция эрозионной сети территории, которая, как уже указывалось выше, выполнялась путем многократного «сглаживания» цифровой модели рельефа местности фильтрами SAGA GIS.

2. Моделирование древней позднемиocen-плиоценовой эрозионной сети на основании показателей горизонтального расчленения рельефа, отобразивших основные тенденции и направления ее развития в прошедший геоморфологического этапа.

3. Полученная сеть была наложена на поверхностные и подземные карстовые формы, с целью установления их генетической связи, а также проверки наличия в данных точках древних аккумулятивных аллювиальных отложений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С целью характеристики современного состояние эрозионной системы исследуемого района, был проведен анализ горизонтального расчленения Восточной части Главной гряды Крымских гор. Для этого был создан, «сглажен» и перепроецирован растровый файл спутниковой съемки SRTM. Далее, полученная цифровая модель рельеф обработана в программе SAGA GIS инструментом по математическому восстановлению действующих эрозионных русел и гидрологической сети.

При этом, созданные картосхемы (рис.1, 2) наглядно показывают древнюю позднемиocen-плиоценовую речную систему карстовых массивов исследуемой территории, распавшуюся в дальнейшем на отдельные карстовые котловины и воронки. Данный факт позволяет говорить о точном отображении алгоритмами программы SAGA GIS ванного рельефа Нижнего плато Чатыр-Дага, Караби и Долгоруковской яйлы, при условии правильной предварительной обработки рельефа, «сглаживающей» неточности спутниковой съемки SRTM.

В будущем, после соответствующей проработке, данный метод может быть использован в качестве одного из основных, при проведении дешифрирования спутниковых снимков на предмет поверхностных карстовых мезоформ — воронок и котловин, формирующих особый рисунок действующей гидросети карстового рельефа [11].

МЕТОДЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ
 ДРЕВНЕЙ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ ГИС
 НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНЫХ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР

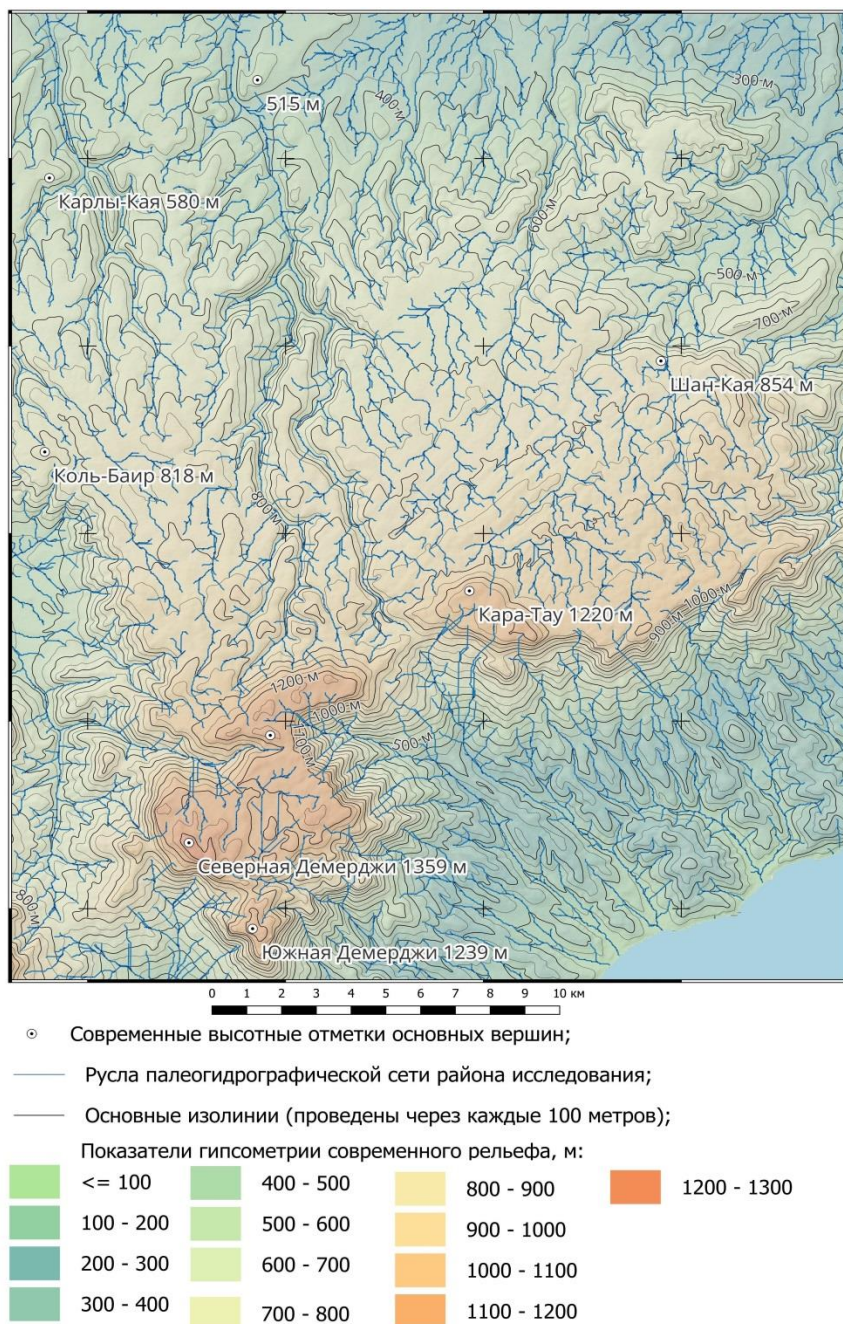


Рис. 2. Древняя гидрографическая сеть карстовых массивов Долгоруковской, Демерджи и Караби яйл, восстановленная фильтрами программы SAGA GIS по файлам спутниковой съемки SRTM.

Составлено авторами.

Для построения картосхемы коэффициента горизонтальной расчлененности была использована следующая формула нахождения коэффициента горизонтального расчленения ($K_{гр}$):

$$K_{гр} = \frac{L}{S} * 10 \quad (1)$$

где L — сумма длин всех возможных водотоков (км) в пределах заданного квадрата; S — площадь квадрата 1 км^2 . Степень расчлененности была показана, согласно общепринятой методики, в следующих диапазонах: Менее 0,5 — не расчлененный рельеф; 0,51–1,0 — слабо расчлененный; 1,01–1,5 — умеренно расчлененный; 1,51–2,0 — сильно расчлененный рельеф [9, 10, 11, 12, 13].

Данные распределения показателя коэффициента горизонтального расчленения рельефа по территории (рис. 3) позволили прийти к следующему:

1. Не расчлененная и слабая расчлененная поверхность плато яйл Главной гряды ($K_{гр} = 0,0-0,5$) эрозионными формами, обусловлена интенсивным развитием карста в верхнеюрских известняках и распадом, в связи с этим, позднемиоцен-плиоценовой гидрографической сети на множество изолированных карстовых коррозийно-эрозионных водосборов, котловин и воронок начавшуюся в средне-позднеплиоценовую эпоху [7]. Следовательно, на первом этапе геоморфологического развития территории, для поверхности плато характерно активное развитие денудационно-аккумулятивных процессов, формировавших миоцен-плиоценовую поверхность выравнин. В дальнейшем, в связи с активизацией тектонических поднятий Крымских гор, она претерпела расчленение долинами временных и постоянных водотоков. По мере вскрытия ими карстующихся известняков и развитии в их пределах инфлюационных процессов, происходило все большее увеличение доли подземного стока [6,7]. В связи с этим, более точно и комплексно характеризовать эрозионную расчлененность плато Главной гряды и унаследованность развития по древним речным долинам карстовых форм рельефа, сможет расчет коэффициента ванности рельефа. Этому требуется посвятить отдельную работу.

2. Северные и северо-восточные склоны яйл характеризуются увеличением показателей горизонтального расчленения рельефа ($K_{гр} = 0,5-1$), с отдельными небольшими полигонами, достигающими умеренной степени расчлененности ($K_{гр} = 1-1,5$), что указывает на направление сноса покровных осадочных пород мелового возраста.

3. Южные и юго-западные а-структурные склоны Главной гряды Восточной группы яйл отличаются наибольшими средними показателями горизонтального расчленения рельефа ($K_{гр} < 1,5$). Это связано с изначальной большей крутизной склонов, сложенных преимущественно не карстующимися породами таврической серии (песчаниками, алевролитами и аргиллитами), обусловивших интенсивное развитие эрозионных процессов. Такая особенность геологического строения склонов способствовала сохранению эрозионных русел и формированию выработанных речных долин.

Таким образом, полученные материалы показывают, что снос нижнемеловых глин, покрывавших верхнеюрские известняки нижних плато карстовых массивов

МЕТОДЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ ДРЕВНЕЙ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ ГИС НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНЫХ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР

Крымских гор, осуществлялся как в северном, так и в южном направлениях. В то же время, верховья рек северного макросклона, простираясь далеко в глубь плато яйл Крымских гор и теряя часть руслового стока в карстовых понорах, сохранили, в связи с этим, аллювиальные отложения в своих долинах.

На заключительном этапе исследования, опираясь на имеющиеся данные о пространственном размещении карстовых воронок и котловин по поверхности плато Главной гряды Крымских гор, полученных в ходе работ по дешифрированию открытых спутниковых снимков, проведенного авторами ранее [11], а также данными о пространственном размещении подземных карстовых полостей, находящимися в электронном кадастре пещер России [14], появляется возможность связать палеогеографическую эрозионную сеть, с распространением поверхностных и подземных карстовых форм. Определение характера и количества единиц карстовых форм, наложенных на долины древней эрозионной сети, позволяет установить их парагенетическую связь, формирующуюся в течении плиоцен-четвертичного этапа развития Крымских гор.

С целью проведения такого анализа, были составлены картосхемы сопоставления палеогеографической эрозионной сети с карстовыми формами отдельно для каждого из горных массивов, входящих в Восточную группу яйл Главной гряды Крымских гор (рис.4).

Большой процент наложения карстовых полостей большого объема на русла древней эрозионной сети, указывает на тесную связь природы формирования первых от поверхностного стока (табл. 1).

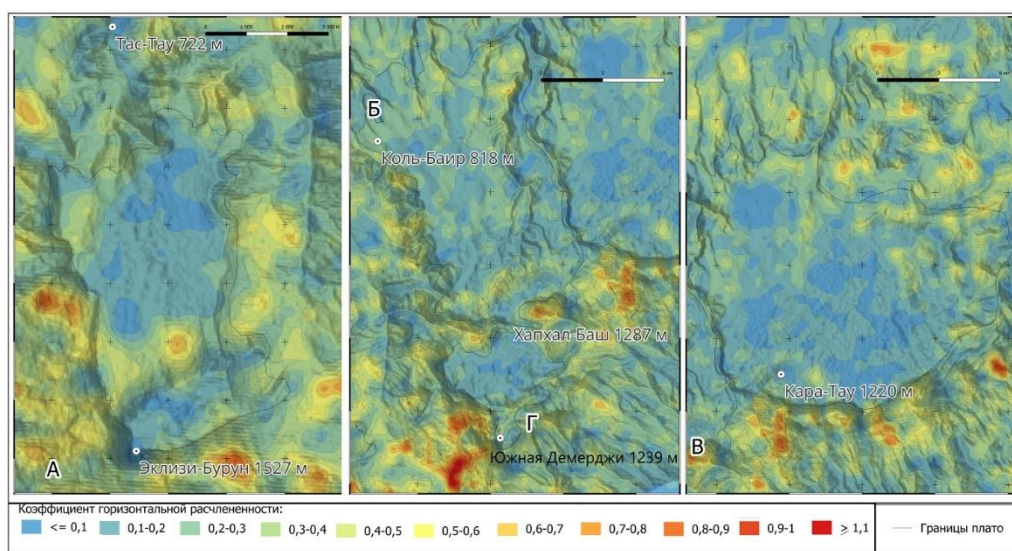


Рис. 3. Горизонтальное расчленение рельефа Восточной группы яйл Главной гряды Крымских гор (А — Чатыр-Даг; Б — Долгоруковская яйла; В — Караби яйла; Г — Демерджи яйла).

Составлено авторами.

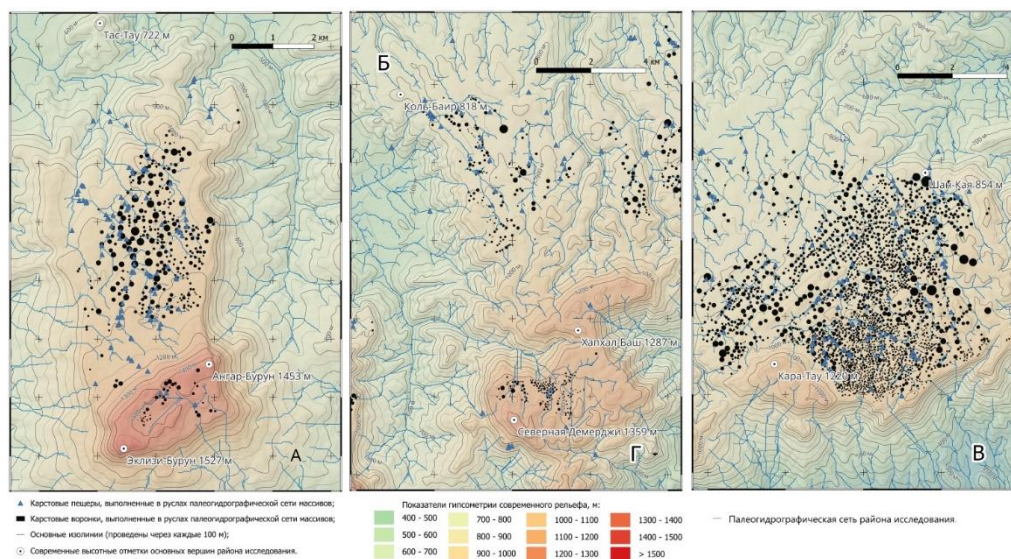


Рис. 4. Схема сопоставления палеогеографической эрозионной сети с карстовыми формами Восточной группы яйл Главной гряды Крымских гор (А — Чатыр-Даг; Б — Долгоруковская яйла; В — Караби яйла; Г — Демерджи яйла).

Составлено авторами.

Это объясняется тем, что гидрологическая функция карстовых полостей подруслового стока изменялась во времени и была тесно связана с общей эволюцией рельефа яйлинских плато. На первом этапе эрозионная сеть закладывалась на поверхности песчано-глинистых пород нижнего мела. По достижению тальвегов эрозионных долин карстующихся верхнеюрских известняков, русловой сток стал получать дополнительный объем воды из восходящих карстовых источников, которые далее эволюционировали в пещеры-источники. Это привело к увеличению живой силы русловых потоков и усилению размыва нижнемеловых глин в долинах рек и их общей денудации. На втором этапе, по мере увеличения объемов подолинных карстовых полостей и падения, в связи с этим, гидродинамических напоров подземных водотоков, они преобразовывались в пещеры-поглотители поверхностного стока. Начался распад эрозионной сети плато на изолированные водосборы.

В дальнейшем, в пунктах интенсивного поглощения русловых вод развиваются крупные карстовые коррозивно-эрозионные котловины и воронки. На месте речных долин формируются карстово-эрозионные долины, выраженные цепочками крупных карстовых котловин и воронок. Древняя эрозионная форма угадывается лишь по перемычкам между ними, высоты которых закономерно снижаются в направлении руслового стока некогда существовавшей здесь речной долины. Этим объясняется небольшое число приуроченных карстовых воронок и котловин к палеоруслу.

**МЕТОДЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ
ДРЕВНЕЙ ЭРОЗИОННОЙ СЕТИ КАРСТОВОГО РЕЛЬЕФА СРЕДСТВАМИ ГИС
НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНЫХ ЯЙЛ КРЫМСКИХ ГОР**

Таблица 1.

Связь карстовых форм рельефа с руслами палеогеографической сети

№ п/п	Горный массив	Общее кол-во пещер	Кол-во пещер в палеоруслах	Процент от общего кол-ва пещер, %	Общее кол-во воронок	Кол-во воронок в палеоруслах	Процент от общего кол-ва воронок, %
1	Чатыр-Даг	344	106	30,8	340	57	16,7
2	Долгоруковская	56	42	75	173	24	13,8
3	Демерджи	17	8	47	122	13	10,6
4	Караби	427	120	28	2275	300	13,1

Составлен оавторами.

Однако, это компенсируется их большими размерами. Карстовые массивы отличаются друг от друга соотношением количества пещер в руслах палеоводотоков от 75% — Долгоруковский до 28% — Караби (табл. 1.), что обусловлено разной степенью зарегулированностью карстом их поверхностного стока. Интенсивный перехват поверхностных вод карстовыми понорами, начавшийся еще в плиоценовую эпоху, привел на Долгоруковском карстовом массиве к формированию длиннейшей карстовой полости Восточной Европы в известняках — Красной пещеры.

ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы разработана и апробирована последовательность проведения палеогеографической реконструкции древней эрозионной сети для карстового рельефа открытого типа средствами ГИС.

Данная методика позволяет достаточно наглядно и точно восстановить распавшуюся эрозионную сеть последних геологических этапов формирования рельефа исследуемой местности, установить генетическую связь миоцен-палеоценовой эрозионной сети с карстовым рельефом Главной гряды Крымских гор, дать интерпретацию и установить генезис автохтонных песчано-галечниковых отложений.

Такая последовательность использования геоинформационных систем, в связке с классическими камеральными методами в геоморфологии, позволяет двигаться от обратного, когда полевому этапу исследования предшествует установочных этап. Позволяющий с помощью инструментов ГИС и открытых источников данных: космических снимков, цифровых моделей рельефа и т.д. проводить предварительные работы по установлению пространственного размещения исследуемых элементов и форм рельефа, их генетической связи с другими формами, закономерностей пространственного развития и т.д.

В целом, метод восстановления распавшейся эрозионной сети ГИС программами, представленный авторами, показал высокую степень верификации, так как показывает высокую степень корреляции с показателями горизонтальной расчлененности карстовых массивов, распределением автохтонных отложений

аллювиального происхождения, сосредоточенного на поверхности плато Чатыр-Дага и приуроченности высокого процента карстовых мезоформ к руслам полученной миоцен-палеоценовой эрозионной сети.

Следовательно, следующим этапом работ по палеогеографической реконструкции рельефа миоцен-плиоценового периода Восточной части Главной гряды Крымских гор выступит вопрос тектонических и гидрогеологических особенностей развития карстовых мезоформ, а также морфолитогенетический анализ автохтонных аллювиальных толщ песчано-галечниковых отложений, попытка диагностирования которых будет проведена в местах наложения карстовых форм на палеоруслу установленной эрозионной сети.

Список литературы

1. Симонов О.Е. Региональный геоморфологический анализ // М.: МГУ, 1972. 251 с.
2. Василевский П.М., Желтов П.И. Гидрологические исследования г. Чатырдаг в Крыму // Труды ВГРО. М.- Л. 1932. Вып. 142. 99 с.
3. Дублянский В.Н., Шутов Ю.И. Карстовая водоносная система Вялова и некоторые вопросы гидрогеологии Чатырдага // Геологический журнал. 1978. С. 128–133.
4. Ковалевский С.А. О покровном оледенении Горного Крыма, его времени, условиях и важнейших последствиях // ДАН СССР. 1966. Т. 171. №2.
5. Лысенко Н.И. Об одной загадке Чатырдага / Бюлл. Комис. по изуч. четв. Периода / Н.И. Лысенко. 1972. №38. С. 134–137.
6. Амеличев Г.Н. Методы морфолитогенетического анализа грубообломочных отложений и палеогеографическая интерпретация их результатов (на примере массива Чатырдаг, Горный Крым) // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «География». 2002. Т. 15(24). №2. С. 86–97.
7. Вахрушев Б.А. Палеогеография Крыма в свете новейших карстологических исследований // Культура народов Причерноморья. Симферополь, 2001. № 17. С. 11–18.
8. Кунов А.А., Вахрушев Б.А., Вахрушев И.Б. Современные тенденции и методы ГИС-картографирования карстовых объектов на примере Главной гряды Крымских гор // Спелеология и спелеостология. 2023. № 2 (8). С. 37–44.
9. Рычагов Г.И. Общая геоморфология // Учебник. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МГУ. 2006. 416 с.
10. Щукин И.С. Общая геоморфология. Том 1 // Учебник. М.: МГУ, 1960. 615 с.
11. Вахрушев Б.А., Кунов А.А., Кунов В.А., Швалеев В.Н. Особенности подготовки растровых файлов спутниковой съемки SRTM для работы в ГИС – карстовый рельеф на примере гипсометрического районирования карстового массива Караби (Горный Крым) // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Симферополь, 2022. Т. 8(74). № 1. С. 219–228.
12. Иванов Б.Н., Зенгина С.М. Применение морфометрического анализа к изучению современных физико-географических процессов (на примере Горного Крыма) // Вопросы морфометрии. 1967. Вып. 2. С. 10–16.
13. Вахрушев Б.А., Кунов А.А., Кунов В.А. Использование метода дешифрирования спутниковых снимков с целью картирования поверхностных карстовых форм и их пространственного анализа // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. Симферополь, 2022. Т. 8(74). № 4. С. 248–263.
14. Информационно-поисковая система «Пещеры»: [Электронный ресурс]. URL: <http://speleoatlas.ru>. (Дата обращения: 28.09.2024).

METHODS OF PALEO GEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS

**ANCIENT EROSION NETWORK BY MEANS OF GIS
ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN YAYL GROUP
THE MAIN RIDGE OF THE CRIMEAN MOUNTAINS**

Kunov A. A.¹, Vakhrushev B. A.²

*^{1,2}V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: ¹kunovaleksej@gmail.com, ²vackhb@inbox.ru*

The paper analyzes the development and evolution of the hydrological system of the Eastern Yayla group of the Main Ridge of the Crimean Mountains, which have a direct impact on the processes of karst formation and the formation of the modern karst relief of the study area. The study was carried out using classical methods of modeling the indicator of horizontal dissection of the relief, establishing the channels of the paleogeographic erosion network of the study area by means of GIS, as well as analyzing existing scientific papers on the topic of the study of alluvial deposits of past geological epochs of the studied area.

Previous studies of paleogeographic features of the development of the Main Ridge of the Crimean Mountains have repeatedly raised the question of the origin, development and significance of pebble sedimentary formations in the talvegs of temporary watercourses and on the slopes of karst mesoforms on the territory of the lower plateau of the Chatyr-Dagh karst massif, which is a western mountain range in the Eastern group of Yayl.

The final conclusion regarding the genesis and temporal conditions of the development of the pebble sediment strata was given by G.N. Amelichev, proving the nature of the formation as ancient autochthonous alluvial strata of sand-pebble deposits, confined to the spatiotemporal features of the evolution of the hydrological system of karst massifs. Developing as a network of permanent watercourses of the Pliocene-Early Quaternary period, the erosion network broke up into a number of closed temporary watercourses, which had a direct impact on the genesis of karst forms and the intensity of limestone leaching processes composing the upper structural floors of the Crimean Mountains.

At the moment, the authors have developed and tested a technique for restoring the ancient Chatyr-Dagh erosion network of the Pliocene-Early Quaternary epoch by repeatedly smoothing the digital terrain model (SRTM satellite image files) with the filters of the SAGA GIS program, until the degree of relief smoothing made it possible to combine the decayed ancient hydrographic system of surface runoff. The resulting erosion network coincides in its spatial position with the fields of sufficiently powerful alluvial pebble deposits of the lower Chatyr-Dagh plateau, which are residual fragments of ancient terrace-channel complexes, at a certain stage of their development, filled and deposited in the karst cavities of the massif.

In view of the above-mentioned features of the development of the erosion system and its role in the formation of the karst relief of the Eastern part of the Main Ridge of the Crimean Mountains, the authors proposed a method of paleogeographic reconstruction of

ancient hydrological systems of areas of open karst distribution, in order to analyze the patterns of karst relief formation.

Keywords: karst relief, digital relief model, horizontal terrain dissection, erosion network, hydrological system, paleogeography, alluvial deposits, GIS, satellite image decoding.

References

1. Simonov O.E. Regional'nyj geomorfologicheskij analiz // M.: MGU, 1972. 251 s. (in Russian)
2. Vasilevskij P.M., Zheltov P.I. Gidrologicheskie issledovaniya g. Chatyrdag v Krymu // Trudy VGRO. M.-L. 1932. Vyp. 142. 99 s. (in Russian)
3. Dublyanskij V.N., Shutov Yu.I. Karstovaya vodonosnaya sistema Vyalova i nekotorye voprosy gidrogeologii Chatyrdaga // Geologicheskij zhurnal. 1978. S. 128–133. (in Russian)
4. Kovalevskij S.A. O pokrovnom oledenении Gornogo Kryma, ego vremeni, usloviyah i vazhnejshih posledstviyah // DAN SSSR. 1966. T. 171. №2. (in Russian)
5. Lysenko N.I. Ob odnoj zagadke Chatyrdaga / Byull. Komis. po izuch. chetv. Perioda / N.I. Lysenko. 1972. №38. S. 134–137. (in Russian)
6. Amelichev G.N. Metody morfolitogeneticheskogo analiza grubooblomochnyh otlozhenij i paleogeograficheskaya interpretaciya ih rezul'tatov (na primere massiva Chatyrdag, Gornyj Krym) // Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Geografiya». 2002. T. 15(24). №2. S. 86–97. (in Russian)
7. Vahrushev B.A. Paleogeografiya Kryma v svete novejsih karstologicheskikh issledovanij // Kul'tura narodov Prichernomor'ya. Simferopol'. 2001. № 17. S. 11–18. (in Russian)
8. Kunov A.A., Vahrushev B.A., Vahrushev I.B. Sovremennye tendencii i metody GIS-kartografirovaniya karstovyh ob'ektov na primere Glavnoj gryady Krymskih gor // Speleologiya i speleostologiya. 2023. № 2 (8). S. 37–44. (in Russian)
9. Rychagov G.I. Obshchaya geomorfologiya // Uchebnik. 3-e izd., pererab. i dop. M.: MGU. 2006. 416 s. (in Russian)
10. Shchukin I.S. Obshchaya geomorfologiya. Tom 1 // Uchebnik. M.: MGU, 1960. 615 s. (in Russian)
11. Vahrushev B.A., Kunov A.A., Kunov V.A., Shvaleev V.N. Osobennosti podgotovki rastrovnyh fajlov sputnikovoj s"emki SRTM dlya raboty v GIS – karstovyj rel'ef na primere gipsometricheskogo rajonirovaniya karstovogo massiva Karabi (Gornyj Krym) // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. Simferopol', 2022. T. 8(74). № 1. S. 219–228. (in Russian)
12. Ivanov B.N., Zengina S.M. Primenenie morfometricheskogo analiza k izucheniyu sovremennyh fiziko-geograficheskikh processov (na primere Gornogo Kryma) // Voprosy morfometrii. 1967. Vyp. 2. S. 10–16. (in Russian)
13. Vahrushev B.A., Kunov A.A., Kunov V.A. Ispol'zovanie metoda deshifirovaniya sputnikovyh snimkov s cel'yu kartirovaniya poverhnostnyh karstovyh form i ih prostranstvennogo analiza // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. Simferopol', 2022. T. 8(74). № 4. S. 248–263. (in Russian)
14. Informacionno-poiskovaya sistema «Peshchery»: [Elektronnyj resurs]. URL: <http://speleoatlas.ru>. (Data obrashcheniya: 28.09.2024). (in Russian)

Поступила в редакцию 20.10.2024 г.