

ГЕНЕТИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЬ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ

© 2021 г. И. С. Новиков^{1,*}, Д. А. Борисенко²

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирская геолого-поисковая экспедиция, Новосибирск, Россия

*E-mail: novikov@igm.nsc.ru

Поступила в редакцию 30.01.2019 г.

После доработки 26.09.2020 г.

Принята к публикации 28.06.2021 г.

В пределах района города Севастополь расположены юго-западные окончания Внешней, Внутренней и Главной гряд Крымских гор и разделяющих их межгрядовых понижений. Внешняя гряда представляет собой плато, ограниченное с северо-запада береговым обрывом. Поверхность плато образуют террасы средиземноморского ряда в возрастном диапазоне от голоцена до миоцена. На Северной стороне они преимущественно денудационно-аккумулятивные (17%, здесь и далее – от общей изученной площади), на Гераклейском полуострове – денудационные (3.5%). Внутренняя гряда отделена от Внешней и Главной гряд Северным и Южным межгрядовыми понижениями. Межгрядовые понижения (24%) представляют собой вытянутые в северо-восточном направлении котловины, борта которых представлены крутыми и пологими склонами, выработанными в известняках, а днища слабонаклонными плоскими и холмистыми поверхностями, сложенными мергелями и глинами. Внутренняя гряда образована двумя куэстами, каждая из которых состоит из крутого и пологого склона на стыке которых местами сохранились фрагменты поверхностей выравнивания. Склоны куэст, примыкающих к межгрядовым понижениям, образуют их борта и могут быть отнесены как к Внутренней гряде, так и к межгрядовым понижениям. Прочие элементы рельефа представлены обвально-оползевыми (6%), пролювиальными (6%), аллювиальными (4%) аккумулятивными и коллювиально-деллювиальными (3%), абразионными (2%) и тектоногенными (0.5%) денудационными поверхностями. Неотектонические поднятия во Внешней гряде достигают 50–70 м, а в Главной – 800 м. Примерно на 25% площади изученной территории имеются геолого-геоморфологические предпосылки для развития оползневых процессов. При этом выявлены значительные территории, отнесенные к категории высоко подверженных образованию оползней, на которых не известно ни одного оползня. Мы связываем это с недоизученностью таких территорий в связи со слабой хозяйственной освоенностью.

Ключевые слова: геоморфологические карты, опасные геологические процессы, юго-западная часть Крыма

DOI: 10.31857/S0435428121040088

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемая территория включает в себя юго-западную часть Крымского п-ова, вошедшего в состав Российской империи в 1783 г. В орографическом отношении она является частью Крымских гор. Первое геоморфологическое районирование территории проведено К.И. Габлицем, выделявшим в пределах Крымских гор три гряды [1]. Данное районирование используется до настоящего времени, поскольку выделенные районы обладают индивидуальностью и существенно отличаются между собой по геологическому строению и особенностям рельефа – т.е. являются геоморфологическими формациями в понимании Н.А. Флоренсова [2].

Хотя история изучения Крымских гор насчитывает более 230 лет и вопросам их геолого-геоморфологического строения посвящено большое количество работ, району города Севастополь, расположенному на их западном окончании, посвящены лишь немногие из них. Во многом это связано с особым административным статусом территории, на которой находится крупнейшая на Черном море база ВМФ.

Интерес к региону возродился у российских исследователей после 2014 г. в связи с изменением статуса Крыма и разработкой планов его хозяйственного преобразования. В ходе планирования и проведения инженерно-строительных работ в районе города Севастополь была установ-

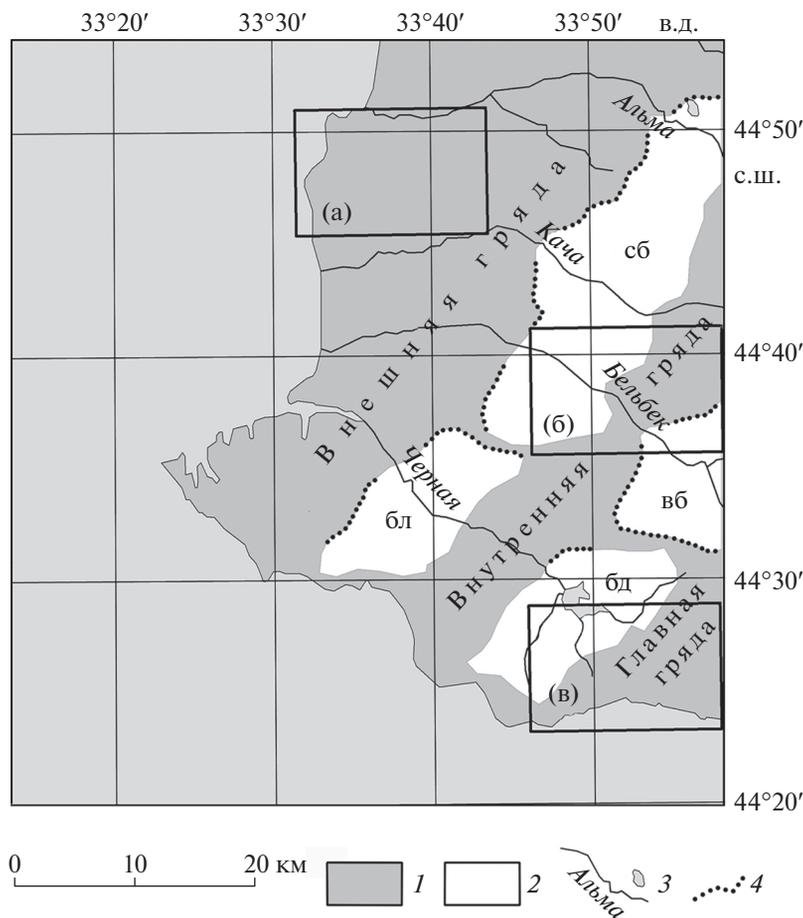


Рис. 1. Геоморфологические районы Юго-Западного Крыма.

1 – гряды Крымских гор; 2 – межгрядовые впадины Северной продольной депрессии (бл – Балаклавская, сб – Симферопольско-Бахчисарайская) и Южной продольной депрессии (бд – Байдарская, вб – Верхнебельбекская); 3 – элементы гидросети; 4 – обрывистые борта межгрядовых впадин. Прямоугольниками (а), (б) и (в) на схеме отмечены территории, показанные на рис. 2.

лена недостаточная инженерно-геологическая изученность его территории [3], в том числе и отсутствие геоморфологических карт средних и крупных масштабов. Для восполнения этого пробела нами была проведена геоморфологическая съемка территории города Севастополь и примыкающих частей Ялтинского, Бахчисарайского и Симферопольского районов в масштабе 1:50 000. Южным и западным ограничениями изученной территории служит береговая линия, северным – линия 43°55' с.ш., восточным – 33°55' в.д. (рис. 1).

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Мы используем в пределах рассматриваемой территории элементы схемы районирования, предложенной К.И. Габлицем [1] – Внешнюю, Внутреннюю и Главную гряды. Также дополняем данную схему, выделяя системы межгрядовых понижений – Северное (между Внешней и Внут-

ренней гряды) и Южное (между Внутренней и Главной гряды). В направлении с северо-запада на юго-восток гряды и понижения последовательно чередуются.

Внешняя гряда может быть названо “грядой” лишь условно, как дань традиции. Это полого снижающееся к северо-западу плато, сложенное на юге миоценовыми известняками, а на севере перекрывающимися их плиоценовыми и плейстоценовыми глинами и галечниками.

Северное межгрядовое понижение отделено от Внешней гряды обрывом в миоценовых известняках. Оно разделяется перемычкой, расположенной на продолжении плато “Мекензиевы горы” на Балаклавскую и Симферопольско-Бахчисарайскую котловины. Днище Балаклавской котловины выработано в глинах альбского яруса нижнего мела и мергелях туронского, коньякского, сантонского, кампанского и маастрихтского ярусов верхнего мела, а днище Симферопольско-

Бахчисарайской котловины — в мергелях бодраковского и альминского ярусов среднего палеогена.

Внутренняя гряда состоит из двух куэст с уступами, образованными известняками датского яруса палеогена и валанжинского яруса нижнего мела. Межкуэстовое понижение выработано в верхнемеловых мергелях сантонского, кампанского и маастрихтского ярусов верхнего мела.

Южное межгрядовое понижение разделено перемычками на ряд изолированных котловин. В днище самой юго-западной из них — Байдарской котловине — вскрываются глины титонского яруса верхней юры, валанжинского, барремского и аптского ярусов нижнего мела. Крутые борта котловины сложены породами тектонического покрова — брекчиевидными титонскими известняками верхней юры, надвинутыми в докайнозойское время на более молодые юрские и нижнемеловые глины [4], выстилающие днище котловины. К северо-востоку от Байдарской расположена Верхнебельбекская котловина, днище которой выработано в песчано-глинистых породах таврической серии верхнего триаса — нижней юры и байосса-бата средней юры, а борта в известняках валанжина нижнего мела и титона верхней юры.

Главная гряда сложена мраморизованными известняками титонского яруса. Южный склон Главной гряды представлен в верхней части обрывом в известняках титона верхней юры, а в нижней — системой обвально-оползневых комплексов, под которыми, судя по обнажениям в наиболее глубоких эрозионных долинах, залегают песчано-глинистые отложения таврической серии позднего триаса-ранней юры и баосса-бата средней юры.

МЕТОДИКА

Геоморфологическая съемка проводилась по методу выделения элементарных поверхностей рельефа, единых в морфо-хроно-генетическом отношении — т.е. сходных по морфологии, времени образования и рельефообразующему процессу или их комплексу. Метод базируется на положении, что земная поверхность представляет собой топологическое образование, состоящее в разных своих участках из характерных наборов элементов с дискретными свойствами по признакам морфологии, времени формирования и генезиса. В русскоязычной научной литературе данный подход обозначен как метод выделения “генетически однородных поверхностей”, в англоязычной литературе близкое направление имеет общее обозначение “land units/ land systems”.

Как и любой подход, в основе которого лежит полноценная теоретическая модель, данный подход имеет высокую практическую значимость. Он позволяет оптимизировать затраты при изучении

и освоении новых территорий, производить в требуемом масштабе районирование местности по степени пригодности для разных видов геологосъемочных и геологопоисковых работ, сельскохозяйственного производства, возведения различных элементов инженерной инфраструктуры.

Подход к земной поверхности как к набору граней, отличающихся углами наклона и набором свойств, обусловленными возрастом и генезисом, был разработан в конце 1940-х годов Ю.К. Ефремовым как развитие методов построения карт специальных свойств местности в годы войны [5]. В 50-е годы XX века метод был усовершенствован и применен советскими геологами в ходе реализации государственной программы геологической съемки масштаба 1 : 200 000 [6–12] и географами в Австралии при проведении кадастровых землеустроительных работ [13–15]. Метод не получил развития в той мере, в которой он заслуживает, по следующим причинам. Во-первых, он был избыточно детален для нужд среднемасштабных съемок. Во-вторых, он слишком опережал уровень современных ему технологических возможностей [16, 17]. В связи с интенсивным развитием геоинформационных технологий, в первое десятилетие XXI века крупномасштабные съемки с выделением генетически однородных поверхностей сейчас вновь проводятся зарубежными геологами [18–27]. В России возрождение метода генетически однородных поверхностей проходит не так активно [28–30].

ГЕНЕТИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ РАЙОНА ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЬ

Начиная со второй половины мела и до позднего неогена, значительная часть рассматриваемой территории была областью мелководной, преимущественно карбонатной аккумуляции. В позднем мелу низменная суша, близкая по высотным отметкам к базису денудации, существовала только на крайнем юго-востоке территории. По мере снижения базиса денудации площадь суши увеличивалась. В конце неогена более 65% территории было областью денудации. В четвертичное время в связи с неотектонической активизацией большая часть территории поднялась и подверглась интенсивному расчленению, в ходе которого аккумулятивные поверхности мелового и палеогенового возраста были полностью, а неогенового — частично, уничтожены. Поэтому распространенные на территории аккумулятивные поверхности имеют неогеновый и четвертичный возраст. Денудационные поверхности включают поверхности выравнивания мелового, палеогенового и неогенового возраста, а также склоны разного генезиса, имеющие преимущественно плейстоценовый и голоценовый возраст. Всего в пре-

делах рассматриваемой территории выделено 37 разновидностей генетически однородных поверхностей, объединенные в 14 групп в зависимости от ведущего рельефообразующего процесса (рис. 2). Пять из них аккумулятивные и денудационно-аккумулятивные (занимают примерно 33% изученной территории), а девять — денудационные (67% изученной территории).

АККУМУЛЯТИВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Поверхности тел обваливания и оползания приурочены к береговым обрывам, склонам долин и балок, а также склонам межгрядовых понижений. Они занимают около 6% площади изученной территории. Наиболее широко оползневые процессы проявлены в местах пересечения Внешней гряды Крымских гор долинами рр. Альмы, Качи и Бельбека, где образуют крупные оползневые комплексы [37]. Оползневые комплексы здесь вытянуты вдоль склонов долин, частично захватывая северо-западный склон Северного межгрядового понижения. Ширина комплексов составляет 1500–3000 м, а длина 5–6 км. Они образовались после возникновения Внешней продольной депрессии к рубежу среднего и позднего плейстоцена [47], т.е. крупные оползневые тела в основном формировались здесь в позднем плейстоцене. Местами установлено налегание отдельных их блоков на голоценовую первую надпойменную террасу. Это означает, что локальные подвижки в пределах оползневых комплексов продолжались в голоцене.

Главная гряда Крымских гор обрывается с юга системой стенок отрыва оползней и обвалов. Между ними и южным берегом Крыма расположена бугристая поверхность шириной 1–2 км, наклоненная к морю под углом около 12°, целиком состоящая из обвально-оползневых тел, по которым развиваются вторичные оползневые процессы. Наиболее крупные оползневые тела могут включать неразрушенные блоки до нескольких километров в поперечнике. Их образование связывают с катастрофическими землетрясениями [38]. Обвально-оползневой комплекс южного берега Крыма подмывается Черным морем и сползает в сторону побережья со скоростью от долей сантиметра до первых сантиметров, в зависимости от толщины оползня [39]. В ходе оползневых процессов в обвальных и оползневых телах формируются новые оползни с крутыми стенками отрыва (45° и более), а также уплощенными площадками вторичных оползневых тел, что усложняет и без того сложную морфологию обвально-оползневого пояса южного берега Крыма.

Обвалы и оползни береговых обрывов и крутых склонов долин и балок обычно имеют в плане размеры в десятки, реже первые сотни метров, что не позволяет изображать их в масштабе съем-

ки. Они показываются внемасштабными знаками. Поверхность тел обвалов и оползней неровная с валами, буграми и заболоченными западинами в тыловой части. Углы наклонов ее неровностей обычно в пределах 0–20°.

Поверхности аккумуляции временных водотоков сложены галечниками и валунниками. Они занимают около 6% изученной территории. Конусы выноса приурочены к выходам V-образных долин в долины крупных рек или в межгрядовые понижения. В зависимости от размеров долин их поперечные размеры колеблются от 200–300 до 1000–1200 м. Углы наклонов поверхности 4–5°. Пролувальные отложения образуют также плоские аккумулятивные днища балок. Они сложены валунниками, галечниками и суглинками. В крупных балках протяженность аккумулятивных днищ может достигать 4–5 км, ширина 1000 м. Углы наклона их поверхности обычно 2–3°.

Поверхности аккумуляции постоянных водотоков — главным образом поймы, первые и вторые надпойменные террасы, занимают примерно 4% изученной территории. В литературе можно найти упоминание о пяти надпойменных речных террасах, время формирования которых увязывается с формированием ранее перечисленных морских террас [40], их ширина не превышает первых десятков метров, а длина отдельных фрагментов — первых сотен метров, они не играют сколько-нибудь существенной роли в строении рельефа и не могут быть показаны в масштабе съемки.

Пойма и первая надпойменная террасы разделены уступом высотой до 3–5 м. Они показываются на картах в виде единого комплекса, который занимает все дно долин основных рек и имеет в пределах рассматриваемой территории ширину 400–850 м, сужаясь при пересечении тел крупных оползневых массивов до 100–150 м. В строении поймы и первой надпойменной террасы преобладают песчано-глинистые осадки с отдельными прослоями мелкой гальки. Вторая надпойменная терраса возвышается над первой на 15–25 м. Она развита фрагментарно. Ширина наиболее крупных фрагментов достигает 500 м, а протяженность 4.5 км. Сложена она валунно-галечными отложениями с размерами валунов до 15–20 см. Поверхности поймы и первых двух надпойменных террас субгоризонтальные с углами наклона менее 1°. Первая надпойменная терраса в данном районе сближена с поймой. Она в нижней части долин полностью аккумулятивная и сложена песками, выполняющими переуглубленные низовья долин. В верховьях рек она цокольная. Вторая надпойменная терраса образована валунно-галечными отложениями. Развита она преимущественно в нижних частях долин. Судя по изученным обнажениям, в основании уступа

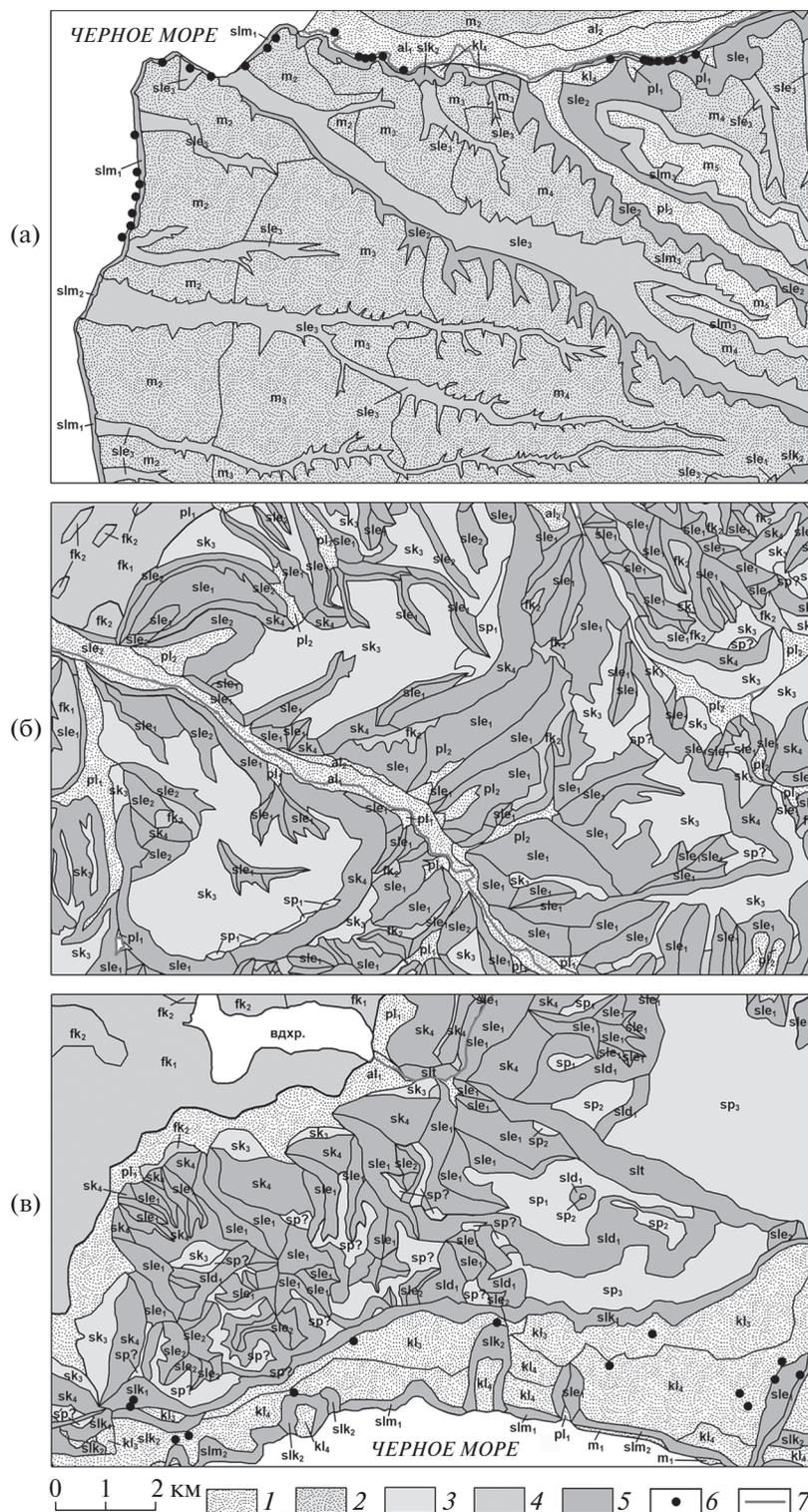


Рис. 2. Геоморфологические карты фрагментов основных геоморфологических районов Юго-Западного Крыма. (а) – Внешняя гряда, (б) – Северная продольная депрессия и Внутренняя гряда, (в) – Главная гряда и Южная продольная депрессия.

1 – аккумулятивные; 2 – аккумулятивно-денудационные; 3–5 – денудационные: 3 – субгоризонтальные и слабонаклонные, 4 – умеренно-крутые, 5 – крутые; 6 – оползни, не выражающиеся в масштабе; 7 – элементы гидросети.

Аккумулятивные морские террасы: m_5 – вторая чаудинская, m_6 – сарматская; kl_3 – обваловые тела; kl_4 – оползневые тела; аллювиальные: al_1 – пойма и первая терраса, al_2 – вторая терраса; пролювиальные: pl_1 – конусы выноса, pl_2 – шлейфы; ta – отвалы карьеров.

Денудационно-аккумулятивные морские террасы: m_1 — новочерноморская, m_2 — карангатская, m_3 — эвксинская, m_4 — первая чаудинская.

Денудационные поверхности выравнивания: $sp?$ — неустановленного возраста, sp_1 — миоценовая, sp_2 — палеогеновая, sp_3 — позднемеловая; *стенки отрыва:* slk_1 — обвалов, slk_2 — оползней; sld_3 — делювиальные склоны крутые и умеренно-крутые; *избирательной денудации (карстовые) склоны:* sk_4 — крутые, sk_3 — пологие; *равнины:* fk_2 — холмистые, fk_1 — плоские; *склоны эрозионных долин:* sle_1 — крутые, sle_2 — средней крутизны, sle_3 — пологие; slt — тектоногенные уступы; *абразионные уступы:* slm_1 — крутые, slm_2 — средней крутизны, slm_3 — пологие; td — карьеры.

террасы цоколь нигде не обнажается, и она аккумулятивная.

Поверхности техногенной аккумуляции представлены многочисленными насыпями, валами, дамбами и отвалами, большинство из которых не может быть изображено в масштабе съемки. Наибольших размеров достигают отвалы крупных карьеров по добыче строительных материалов. Это плосковершинные холмы с углами склонов $30-35^\circ$, их размеры в поперечнике достигают 800 м. В пределах изученной территории они не играют существенной роли, занимая около 0.05% от общей площади.

ДЕНУДАЦИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Последовательность морских террас давно установлена в Средиземноморском и Черноморском регионах [31–33]. Их формирование связано с прерывистым снижением уровня Мирового океана в кайнозое. На тектонически стабильных побережьях здесь находится лестница морских террас с возрастными с миоцена по голоцен [34–36]. Нами она наблюдалась в пределах Внешней гряды. Миоценовая терраса — единственная полностью аккумулятивная, поскольку продолжает миоценовую поверхность выравнивания и нигде не срезает нижележащие отложения. А вот все более молодые террасы — цокольные (денудационно-аккумулятивные). На севере рассмотренного района это обстоятельство маскируется тем, что выработаны они в галечниках николаевской толщи и галечники их чехла мало отличаются от пород цоколя, а вот к югу от Севастопольской бухты, где они выработаны в миоценовых известняках и практически полностью лишены осадочного чехла, их цокольная природа не оставляет сомнений.

Денудационно-аккумулятивные морские террасы занимают около 17% площади изученной территории, а их денудационные аналоги 3.5%.

Миоценовая терраса (150–160 м) сложена белесыми глинами, мергелями и известняками сарматского яруса (миоцен). Образует наиболее высокие аккумулятивные уровни водоразделов. Здесь и далее в скобках указаны высоты поверхности площадок террас неотектонически стабильных территорий. В пределах рассматриваемого района позднеплиоценовая, ранне- и сред-

нечетвертичная морские террасы приподняты до 50–70 м.

Позднеплиоценовая вторая чаудинская терраса (120–140 м) сложена красно-бурыми суглинками, мергелями и серыми галечниками (плиоцен), отделена от миоценовой террасы отчетливым уступом.

Раннечетвертичная первая чаудинская (90–110 м), среднечетвертичная эвксинская 50–80 м), позднечетвертичная карангатская (18–45 м) и голоценовая новочерноморская (3–5 м) террасы покрыты серыми галечниками и врезаны в миоценовые и позднеплиоценовые отложения. Толщина галечникового чехла 3–5 м. В южном направлении толщина чехла истончается и исчезает сначала на высоких террасах, а к югу от Севастопольской бухты все террасы полностью лишены чехла и в рельефе выражены только цоколи, выработанные в сарматских отложениях. Их площадь составляет около 3.5% изученной территории.

Поверхности четвертичных морских террас имеют слабый (0.5°) наклон в сторону побережья Черного моря. У неогеновых террас наклон увеличивается до $2-3^\circ$ в связи с их вовлеченностью в поднятие четвертичного времени, Ширина террас обычно 2–3 км, а протяженность отдельных фрагментов зависит от ширины водоразделов и составляет 5–10 км.

ДЕНУДАЦИОННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Поверхности выравнивания образовались на данной территории в условиях длительного тектонического покоя и стабильного уровня Мирового океана, который служил базисом денудации. В районе присутствуют все три высотных уровня, которые должны были возникнуть (в соответствии с кривой Хага-Вейла [41–44]) в позднем мелу, в раннем-среднем палеогене и миоцене [35, 40, 45]. Формировались поверхности выравнивания вблизи палеоуровней Мирового океана 300, 250 и 200 м. Одновременно с формированием денудационных поверхностей выравнивания в прилегающем морском бассейне накапливались коррелятивные отложения. Поверхность их толщи после снижения базиса денудации осушалась и образовывала морскую равнину соответствующего возраста. Меловая и палеогеновая морские равнины были уничтожены при формировании миоценовой поверхности выравнивания, которая

срезает их отложения. Местами можно проследить ее переход к аккумулятивной миоценовой морской равнине и восстановить положение береговой линии миоценового времени [45]. Реликты поверхностей выравнивания занимают около 3.5% площади изученной территории.

Наиболее полно все три уровня представлены на яйлах Главной гряды Крымских гор, где размеры сохранившихся фрагментов поверхностей выравнивания достигают 4–5 км в поперечнике. Абсолютные высоты яйл достигают здесь 1100 м. Соответственно, вертикальная амплитуда неотектонического поднятия с учетом исходной высоты формирования меловой поверхности выравнивания составляет до 800 м. Поверхности выравнивания на яйлах Главной гряды срезают сложно дислоцированную толщу юрских известняков. Они несут эпигенетический микрорельеф в виде карстовых воронок, число которых достигает нескольких десятков на 1 км². Без учета участков, измененных карстовыми процессами, наклон поверхностей выравнивания в целом не превышает 2–3°. На наиболее возвышенных участках водоразделов Внешней гряды сохранились фрагменты миоценовой поверхности выравнивания размером до 2–3 км в поперечнике, почти не измененной карстовыми процессами. На водоразделах Средней гряды сохранились фрагменты всех трех поверхностей выравнивания, имеющие обычно вытянутую форму, ширину до 500 м и длину до 5 км. Карстовые формы на них также развиты слабо.

Общее снижение поверхности Крымских гор незначительно, в сумме оценивается в 0.08 мм/год, главным образом за счет врезания долин и отступления их склонов [46]. На плоских водоразделах снижение поверхности меньше на 1–2 порядка. Соответственно за все время существования поверхностей выравнивания снижение их поверхности не превысило первых десятков метров.

Поверхности стенок отрыва обвалов и оползней в пределах рассматриваемой территории имеют обычно первые сотни метров в длину и первые десятки метров в высоту и не могут быть выражены в масштабе съемки. У наиболее крупных оползневых комплексов юго-восточного склона Внешней гряды, расположенных в месте ее пересечения долинами рек, протяженность стенок отрыва достигает 8–10 км при высоте 50–60 м. Судя по тому, что стенки отрыва сильно расчленены и выположены, они не моложе позднего плейстоцена. Крупные стенки отрыва характерны для южного склона Главной гряды, где протяженность их отдельных участков достигает 10–15 км, высота составляет 250–450 м при углах наклона до 60–80°. В общей сложности стенки отрыва обвалов и оползней занимают около 1.5% изученной территории.

Поверхности склоновой денудации распространены в пределах рассматриваемой территории только в водораздельных частях Главной и Внутренней гряд Крымских гор, где они разделяют разные возрастные уровни поверхностей выравнивания. Их высота обычно 50–100 м, протяженность может достигать 3 км, а углы наклона 30–35°. Они занимают 1.5% изученной территории.

Поверхности карстовой денудации в пределах рассматриваемой территории распадаются на две большие группы. Первую образуют широко развитые на плоских водоразделах Главной гряды карстовые воронки шириной до 200 и глубиной 15–25 м со склонами от 15–20° до 40° и более. В силу своих небольших размеров они не могут быть изображены в масштабе съемки. Вторую группу образуют межгрядовые понижения (ширина по бровкам бортов 6.5–7.5 км, протяженность от 13–15 до 35 и более км, разделяющие Внешнюю, Внутреннюю и Главную гряды Крымских гор, которые принято относить к формам комплексной денудации [40]. Аналогичные впадины в сходных геолого-геоморфологических условиях известны в Восточном Средиземноморье, например, впадины Рамон, Хатира и Хацера в пределах плато Негев.

Продольные депрессии сформированы комплексом денудационных процессов, но тот факт, что их борта выработаны в устойчивых к эрозии известняках, а днище в малоустойчивых, но водонепроницаемых глинах и мергелях, свидетельствует о том, что основным фактором при их образовании были карстовые процессы при подчиненном влиянии прочих агентов денудации, и они являются гигантскими карстовыми депрессиями.

Учитывая линейную вытянутость продольных депрессий в две линии по обе стороны Внутренней гряды, следует предположить, что их формирование происходило в пределах зон дробления, возникших на неотектоническом этапе в ходе поднятия Главной гряды Крымских гор.

Денудационные депрессии между грядями Крымских гор занимают около 24% изученной территории. Они образованы следующими генетически однородными поверхностями: *крутыми бортами, пологими бортами, плоскими днищами и холмистыми возвышенностями днищ*. *Крутые борта* образуются, когда склоны депрессий наклонены в обратном направлении относительно общего падения карбонатной толщи, в которой они выработаны. Обычно они имеют юго-восточную экспозицию. Протяженность отдельных их сегментов от 5 до 15 км, углы наклона от 25–30° до 50° и более вплоть до отрицательных, высота от 100 до 250 м. *Пологие борта* образуются, когда их экспозиция (обычно северо-западная) совпадает с общим падением слоистой толщи, в которой они

выработаны. Протяженность отдельных сегментов 3–7 км, ширина 2.7–3.4 км, углы наклона 10–15°, реже до 25°. *Днища продольных депрессий* выработаны в глинах и мергелях (глинистых известняках). Их ширина 1–3 км, протяженность отдельных сегментов в пределах рассматриваемой территории от 3 до 13 км, углы наклона поверхности 5–6°. В их пределах выделяются *холмистые возвышенности*, обычно имеющие изометричную форму, 1–2 км в поперечнике, относительные высоты до 50–80 м. Они имеют плоские вершины и углы наклона склонов 10–15°.

Время формирования продольной депрессии между Внутренней и Внешней грядами установлено по U/Th датировкам натечных образований остаточных карстовых полостей в обрывах северного борта депрессии [47]. Начало формирования депрессии – около 240 тыс. л.н. (вторая половина среднего плейстоцена) датируется по времени прекращения формирования отложений восходящих источников. Окончание интенсивного углубления – 130 тыс. л.н. (граница среднего и позднего плейстоцена) фиксируется по осушению карстовых полостей и началу формирования сталагмитов. Суммарная скорость денудации примерно 1.4 мм/год, что для карстового массива совсем немного. Эти датировки хорошо согласуются с геоморфологическими данными, поскольку формирование продольной депрессии не могло начаться раньше образования среднеплейстоценовой эвксинской террасы, т.к. до этого базис денудации находился выше уровня дна депрессии, и должно было завершиться до начала формирования на склонах продольных депрессий позднелайстоценовых оползневых комплексов.

Поверхности склонов эрозионных долин являются самым распространенным типом генетически однородных поверхностей в пределах рассматриваемой территории, занимая в совокупности около 30.5% ее площади. По углам наклона и интенсивности формирования они разделяются на три группы: *крутые эрозионные склоны*, *эрозионные склоны средней крутизны* и *пологие эрозионные склоны*.

Поверхности крутых склонов эрозионных долин характерны для интенсивно врезающихся в голоцене и позднем плейстоцене элементов дренажной сети. Они встречаются в V-образных долинах временных и постоянных водотоков, а также ящикообразных долинах среднего и нижнего течения крупных рек (Альмы, Качи, Бельбека). Склоны обычно имеют угол естественного откоса, который на рассматриваемой территории составляет 31–36° [48]. У недавних врезов углы наклона могут достигать 45° и более. Для Северной продольной депрессии V-образные долины не характерны. Они также редко образуют склоны балок, дренирующих водоразделы Внешней гряды

за исключение междуречья Качи и Бельбека, представляющего собой относительно приподнятый неотектонический блок, подвергшийся интенсивному эрозионному расчленению. Более всего в пределах рассматриваемой территории крутые склоны распространены в южном окончании Внутренней гряды, которая расчленена V-образными долинами до состояния бедленда.

Поверхности средней крутизны склонов эрозионных долин формируются на месте крутых эрозионных склонов при затухании эрозионного процесса и выполаживании бортов эрозионных долин склоновыми процессами до углов наклона 15–20°. Они широко представлены на водоразделах Внешней гряды и несколько меньше на южном окончании Внутренней гряды.

Поверхности пологих склонов эрозионных долин имеют углы наклона 8–10° и характерны для водоразделов Внешней гряды, где образуют склоны балок, начинающих врезаться в позднелайстоценовые террасы, и расположены верховья более древних балок, до которых еще не добралась регрессивная эрозия.

Поверхности тектоногенные уступов слабо распространены в пределах рассматриваемой территории, занимая менее 0.5% ее площади. В слабо измененном виде встречаются в виде единичных случаев на водоразделах Главной гряды, где смещают лестницу поверхностей выравнивания. Все установленные тектоногенные уступы имеют северо-восточное простирание. Их формирование связано с растяжениями в ходе неотектонического поднятия Крымских гор. Представляют собой уступы высотой до 150–180 м, протяженностью до 6 км с углами наклона поверхности 30–35°, местами до 40°.

Поверхности абразионных уступов опоясывают территорию района города Севастополь с запада и юга и являются наиболее динамически развивающимся ее элементом. Они занимают 2% площади территории. Скорость отступления берега здесь очень неравномерна и составляет от 500 до 2 см в год [49]. Выделяются свежие абразионные уступы с углами наклона 50° и более. Они прослеживаются практически по всему побережью, но наиболее активно развиваются к северу от Севастопольской бухты, где берег сложен малоустойчивыми абразии глинами и галечниками. Южное побережье, сложенное на значительном протяжении юрскими мраморизованными известняками, более устойчиво и над активно развивающимся современным абразионным уступом сохранился реликтовый абразионный уступ. Он сглажен склоновыми процессами до углов естественного откоса – 30–36°. Кроме того, на водоразделах внешней гряды между уровнями высоких морских террас сохранились береговые уступы, силь-

но измененные склоновыми процессами с углами наклона 10–15°.

Поверхности антропогенной деструкции очень широко распространены в пределах рассматриваемой территории. В основном это объекты с линейными размерами в первые метры, реже – десятки метров: ямы на месте подземных сооружений, воронки от разрыва тяжелых боеприпасов, дорожные выемки. В масштабе съемки они показаны быть не могут. Наиболее крупными формами являются карьеры по добыче строительных материалов, размеры которых достигают в поперечнике 1000–1500 м при глубине 100–170 м. Они имеют обычно плоское дно и ступенчатые склоны с крутизной больше угла естественного откоса. По площади они занимают около 0.5% рассматриваемой территории.

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЬ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Уже на ранних стадиях хозяйственного освоения Крымских гор выяснилось, что наиболее опасными экзогенными процессами здесь являются оползни и обвалы [50, 51]. В XX веке на территории Крыма проведена большая работа по выявлению и мониторингу оползневых процессов [52, 53]. Развитие всего комплекса экзогенных процессов, включая оползневой, контролируется распространением генетически однородных поверхностей, с которыми связаны различия в морфологии поверхности, рыхлых поверхностных отложениях и степени их подвижности. В силу своей доступности наиболее хорошо изучены оползни, связанные с береговыми обрывами [54, 55]. Однако оползневые процессы широко проявлены, но недостаточно изучены в пределах остальной части района города Севастополь, поскольку там имеются соответствующие геолого-геоморфологические условия.

В целях прогноза распределения оползневых процессов целесообразно разделить генетически однородные поверхности рассматриваемой территории на три категории по условиям возникновения оползней: 1) отсутствуют условия для формирования оползней, 2) существует умеренная вероятность проявления оползней, 3) существует высокая вероятность проявления оползней (рис. 3).

К первой категории относятся аккумулятивные морские террасы, делювиальные конусы выноса и шлейфы, поймы и аллювиальные террасы, поверхности выравнивания, денудационные склоны, пологие склоны, днища и холмистые участки продольных депрессий, пологие склоны эрозионных долин и сильно сглаженные абразионные уступы. Ко второй категории относятся

склоны эрозионных долин умеренной крутизны и абразионные уступы умеренной крутизны. К третьей категории – тела оползней, обвалы и отвалы горных пород, стенки отрыва оползней и обвалов, крутые денудационные уступы, крутые склоны карстовых продольных депрессий, крутые борта эрозионных долин, склоны тектоногенных уступов, склоны абразионных уступов и бортов крупных карьеров.

На территориях первой категории обвальноползневые процессы без внешнего воздействия невозможны, но могут проявляться в случае производства в ее пределах объемных работ по созданию насыпей и выемок. Также формирование оползней на территориях первой категории возможно при землетрясениях магнитудой более 7.5, когда происходит вовлечение в оползневой процесс краевых частей водораздельных плато в полосе шириной до 1–2 км. Подобные примеры в геологической истории четвертичного периода имеются. На территориях второй категории обвальноползневые процессы могут проявляться в аномально влажные годы и при производстве строительных работ. На территориях третьей категории обвальноползневые процессы либо проявляются постоянно в текущем времени, либо активизируются при антропогенном воздействии, сезонном увлажнении или выпадении повышенного количества осадков в сухой сезон.

На большей части территории формирование оползней контролируется главным образом крутизной склонов, поскольку остальные условия (широкое распространение глинистых пород и влажный климат) здесь достаточно однородны. Исключение составляют древние оползневые комплексы северной продольной депрессии, имеющие высокий оползневой потенциал при малых углах наклона и развивающиеся в неогеновых толщах, состоящих главным образом из известняков при подчиненном значении глин. На южном склоне главной гряды, сложенной в верхней части прочными юрскими известняками ситуация несколько меняется. В этой части территории оползневые процессы конкурируют с обвальными. В крутых склонах, в которых вскрываются выходы тектонических пластин, сложенных глинистыми породами, развиты оползневые процессы, несмотря на большие углы наклона, для которых обычно характерны обваливание и осыпание.

В общей сложности примерно на 25% площади изученной территории имеются геолого-геоморфологические предпосылки для развития оползневых процессов. В 2016–2018 гг. нами были проведены работы по актуализации реестра оползней юго-западного Крыма и мониторингу их активности, который заключался в полевых наблюдениях над признаками активности (наземных и с

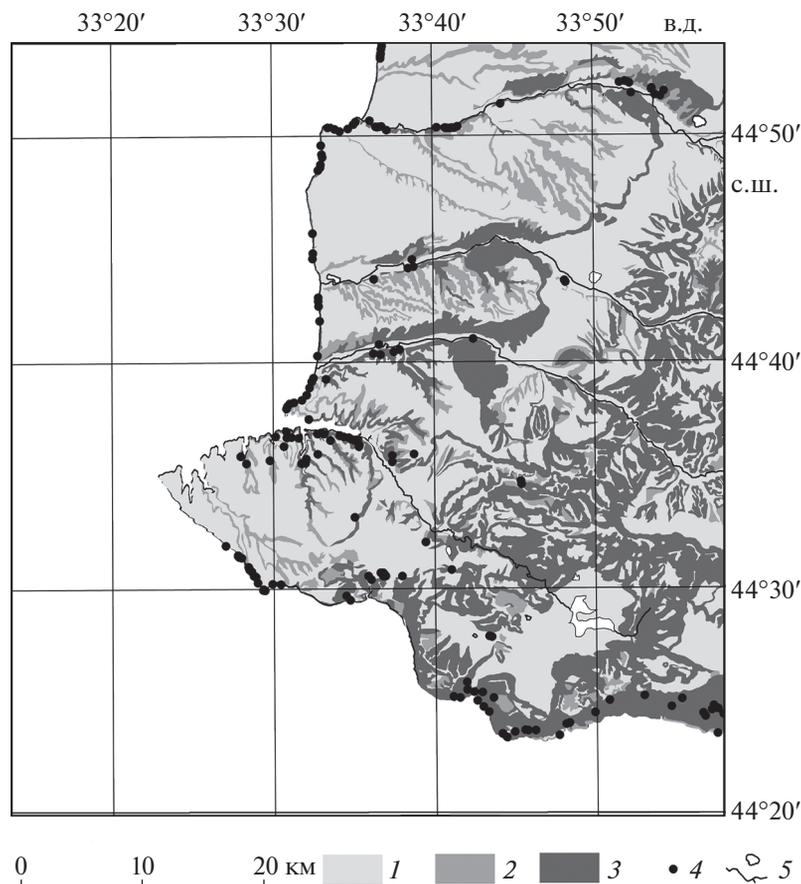


Рис. 3. Схема районирования Юго-Западного Крыма по условиям формирования оползней.

Условия для формирования оползней: 1 – отсутствуют, 2 – умеренная вероятность, 3 – высокая вероятность; 4 – установленные современные оползни, на которых ведется мониторинг; 5 – реки и озера.

помощью беспилотных летательных аппаратов) и измерениях положения реперов в телах оползней методами высокоточной GPS-геодезии. Анализ распределения выявленных оползней в пределах территории показал, что в целом они тяготеют к выделенным районам, подверженным формированию оползней. Распределение это крайне неравномерное. Выделяются значительные территории, отнесенные к категории высоко подверженных образованию оползней, на которых не известно ни одного оползня. Мы связываем это со слабой освоенностью этих территорий, отсутствием на них дорог и других искусственных сооружений, которым угрожали бы оползни. При хозяйственном освоении этих территорий и строительстве таких объектов возникновение проблем, связанных с оползневыми процессами, представляется неизбежным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Причины широкого распространения оползневых процессов в пределах рассмотренного района достаточно очевидны – обилие форм рельефа

с крутыми склонами, высокое содержание глин в толщах, слагающих район, приморский климат с большим количеством атмосферных осадков и высокая сейсмичность территории. Отмечаемое многими авторами влияние антропогенных факторов на формирование оползней представляется преувеличенным. Среди установленных оползней и оползневых комплексов лишь единицы расположены вне районов, отнесенных по геолого-геоморфологическим данным к районам, не подверженным образованию оползней, и все они связаны с крупными дорожными насыпями и выемками – т.е. техногенными формами микрорельефа. В остальных случаях техногенное воздействие служит лишь пусковым механизмом на площадях с высоким потенциалом развития оползневых процессов.

В ходе проведения геоморфологической съемки нами было отмечено отклонение от общих закономерностей строения рельефа, причина которого осталась неустановленной. В долине реки Черной в районе Инкермана не произошло формирование большого оползневого комплекса, то-

гда как в сходных геолого-геоморфологических условиях на северном продолжении границы между Внешней грядой и Северным продольным понижением при ее пересечении долинами Бельбека, Качи и Альмы такие комплексы образовались.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Габлиц К.И.* Физическое описание таврической области, по ее местоположению, и по трем царствам природы. СПб: Тип. И. Вейтбрехта, 1785. 199 с.
2. *Флоренсов Н.А.* О геоморфологических формациях // Геоморфология. 1971. № 2. С. 3–10.
3. Концепция пространственного развития города федерального значения Севастополя СПб. Севастополь: Ин-т территориального планирования “Урбаника”, 2015. 379 с.
4. *Юдин В.В.* Надвиговые и хаотические комплексы. Симферополь: ИТ “АРИАЛ”, 2013. 251 с.
5. *Ефремов Ю.К.* Опыт морфологической классификации элементов и простых форм рельефа // Вопросы географии. 1949. Вып. 11. С. 47–64.
6. *Борисевич Д.В.* Единый метод геоморфологического картирования в средних масштабах. М.: Изд-во ОГГН при АН СССР, 1959. 23 с.
7. *Борисевич Д.В.* Универсальная легенда для геоморфологических карт // Землеведение. Новая серия. 1950. Т. III (XLIII). С. 169–182.
8. *Борисевич Д.В.* Универсальная морфохроногенетическая легенда для геоморфологических карт крупного, среднего и мелкого масштаба и принципы генерализации при переходе к картам более мелкого масштаба // Географический сборник 3. Научная информация в географии. Теоретические и региональные проблемы географии. М.: ВИНТИ, 1969. С. 137–153.
9. *Спирidonov А.И.* Геоморфологическое картографирование. М.: Географгиз, 1952. 187 с.
10. *Ефремов Ю.К.* Классификация рельефообразующих факторов в связи с задачами геоморфологического картирования // Вопросы географии. 1954. Вып. 36. С. 71–90.
11. *Ермолов В.В.* Вопросы составления геоморфологических карт при среднемасштабной комплексной геологической съемке северных районов. Л.: Ин-т геологии Арктики, 1958. 35 с.
12. *Ермолов В.В.* Генетически однородные поверхности в геоморфологическом картировании. Новосибирск: РИО СО АН СССР, 1964. 42 с.
13. *Christian C.S. and Stewart G.A.* General Report on Survey of Katherine-Darwin Region, 1946. Land Research Series No. 1. Melbourne: CSIRO Australia, 1953. 177 p.
14. *Christian C.S. and Stewart G.A.* Methodology of integrated surveys // Aerial Surveys and Integrated Studies. Paris: UNESCO, 1968. P. 233–280.
15. *Story R., Tweedie A.D., van de Graaff R.H.M., and Galloway R.W.* General Report on the Lands of the Hunter Valley. Land Research Series No. 8. Melbourne: CSIRO Australia, 1963. 156 p.
16. *Davidson D.A.* The assessment of land resources: achievements and new challenges // Australian Geographical Studies. 2002. Vol. 40. P. 109–128.
17. *Новиков И.С.* Обзор становления отечественных картографических исследований в области геологической геоморфологии (превратности метода) // Геоморфология. 2003. № 2. С. 28–42.
18. *Gustavsson M. and Kolstrup E.* New geomorphological mapping system used at different scales in a Swedish glaciated area // Geomorphology. 2009. Vol. 110. P. 37–44.
19. *Gustavsson M., Kolstrup E., and Seijmonsbergen A.C.* A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development // Geomorphology. 2006. Vol. 77. P. 90–111.
20. *Gustavsson M., Seijmonsbergen A.C., and Kolstrup E.* Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map – With an example from Liden, central Sweden // Geomorphology. 2008. Vol. 95. P. 335–349.
21. *van Asselen S. and Seijmonsbergen A.S.* Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM // Geomorphology. 2006. Vol. 78. P. 309–320.
22. *Smith M.J., Rose J., and Booth S.* Geomorphological mapping of glacial landforms from remotely sensed data: An evaluation of the principal data sources and an assessment of their quality // Geomorphology. 2006. Vol. 76. P. 148–165.
23. *Minár J. and Evans I.S.* Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping // Geomorphology. 2008. Vol. 95. P. 236–259.
24. *Siart C., Bubbenzer O., and Eitel B.* Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete // Geomorphology. 2009. Vol. 112. P. 106–121.
25. *Anders N.S., Seijmonsbergen A.C., and Bouten W.* Segmentation optimization and stratified object-based analysis for semi-automated geomorphological mapping // Remote Sensing of Environment. 2011. Vol. 115. P. 2976–2985.
26. *Romstad B. and Etzelmüller B.* Mean-curvature watersheds: A simple method for segmentation of a digital elevation model into terrain units // Geomorphology. 2012. Vol. 139–140. P. 293–302.
27. *James L.A., Walsh S.J., and Bishop M.P.* Geospatial technologies and geomorphological mapping // Geomorphology. 2012. Vol. 137. P. 1–4.
28. *Новиков И.С.* Морфология и история формирования пенепплена Алтая на примере Курайского хребта // Геоморфология. 2015. № 3. С. 70–80.
29. *Мамедов Г.М., Новиков И.С.* Геоморфология Джунгарской равнины и ее горного обрамления // Геоморфология. 2015. № 1. С. 88–100.

30. *Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Каргополов С.А.* Геологическое строение, рельеф и неотектоника Чулышманского нагорья (Горный Алтай) // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 10. С. 1757–1771.
31. *Пейнер Ф.* Плейстоцен. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 502 с.
32. *Zeuner F.E.* The Pleistocene Period. London. Hutchinson. 1959. 447 p.
33. *Федоров П.В.* Стратиграфия Четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 157 с.
34. *Благоволин Н.С.* Возраст морфоструктуры Горного Крыма // Изв. АН СССР. Сер геогр. 1965. № 2. С. 83–89.
35. *Лысенко Н.И.* К вопросу о происхождении поверхностей выравнивания на Крымской яйле // Геоморфология. 1972. № 2. С. 81–85.
36. *Димитров П.С., Говберг Л.И.* Новые данные о плейстоценовых террасах и палеогеографии болгарского шельфа Черного моря // Геоморфология. 1979. № 2. С. 81–89.
37. *Клюкин А.А.* О возрасте оползней в долинах прорыва рек через куэстовые гряды Крыма // Геоморфология. 1978. № 2. С. 72–79.
38. *Благоволин Н.С.* Сейсмоструктурные и сейсмогравитационные процессы в Горном Крыму // Геоморфология. 1993. № 2. С. 49–56.
39. *Корженевский Б.И.* Гравитационные склоновые процессы на южном берегу Крыма // Геоморфология. 1992. № 1. С. 66–72.
40. *Благоволин Н.С.* Вопросы геоморфологии Крыма // Вопросы географии. Сб. 74. 1968. С. 98–108.
41. *Vail P.R., Mitchum R.M. Jr., and Thompson S.* III Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 4. Global cycles of relative changes of sea level // American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1977. Vol. 26. P. 83–89.
42. *Haq B.U. and Al-Qahtani A.M.* Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform // GeoArabia. 2005. No. 10. P. 127–160.
43. *Haq B.U., Hardenbol J., and Vail P.R.* Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present) // Science. 1987. Vol. 235. No. 4793. P. 1156–1167.
44. *Miller K.G., Mountain G.S., Wright J.D., and Browning J.V.* A 180-million-year record of sea level and ice volume variations from continental margin and deep-sea isotopic records // Oceanography. 2011. Vol. 24. No. 2. P. 40–53.
45. *Лысенко Н.И.* Новые данные о миоценовой поверхности выравнивания в Горном Крыму // Геоморфология. 1976. № 1. С. 86–90.
46. *Благоволин Н.С., Клюкин А.А.* Скорость современной денудации Крымских гор // Геоморфология. 1987. № 4. С. 42–49.
47. *Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н., Дублянский Ю.В., Штаубвассер М.* Возраст рельефа Внутренней гряды Горного Крыма по U/Th датировкам кальцитовых отложений карстовых полостей // Доповіді Національної академії наук України. 2012. № 7. С. 88–95.
48. *Клюкин А.А.* Эволюция крутых склонов Крымских гор // Геоморфология. 1998. № 3. С. 59–66.
49. *Луговой Н.Н.* Типизация, районирование и состояние морских берегов Севастополя // Геоморфология. Вып. 7. М.: Медиа-Пресс, 2016. С. 131–142.
50. *Инженерная геология СССР. Т. 8. Кавказ, Крым, Карпаты / Ред. И.М. Буачидзе, К.И. Джаннджгава, М.В. Чуринова.* М.: Изд-во МГУ, 1975. 365 с.
51. *Славин В.И.* Современные геологические процессы в Юго-Западном Крыму. М.: Изд-во МГУ, 1975. 195 с.
52. *Ерши И.Ф., Саломатин В.Н.* Оползни Крыма. Симферополь: Апостроф, 1999. 422 с.
53. *Рудько Г.И., Ерши И.Ф.* Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты). Киев: Задруга, 2006. 620 с.
54. *Горячкин Ю.Н., Федоров А.П.* Оползни Севастопольского региона. Ч. 1. Северная сторона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 1. С. 4–12.
55. *Горячкин Ю.Н., Федоров А.П.* Оползни Севастопольского региона. Ч. 2. Гераклеийский полуостров // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 2. С. 4–12.

Land units of the Sevastopol city area and landslide forecast

I. S. Novikov^{a,*} and D. A. Borisenko^b

^a*Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia*

^b*Novosibirsk geological search expedition, Novosibirsk, Russia*

*E-mail: novikov@igm.nsc.ru

The South-Western extends of the Outer, Inner and Main ridges of the Crimean mountains and the inter-ridge depressions that separate them are located within the city of Sevastopol. The Outer ridge is a plateau bounded from the North-West by a coastal cliff. The surface of the plateau is formed by terraces of the Mediterranean series ranging in age from Holocene to Miocene. Accumulational terrace cover 17% of the overall studied territory on the Northern side of the plateau and denudational terraces cover 3.5% on the Heraclea Peninsula. The Inner ridge is separated from the Outer and Main ridges by the Northern and Southern inter-ridge depressions. Inter-ridge depressions cover 24% of territory. They are characterized by steep and gentle slopes developed on limestone; and flat and hilly bottoms developed in marl and clay. The Inner ridge is

formed by two cuestas bounded by steep and gentle slopes with fragments of flat surface at the top. Cuestas slopes also serve as sides of the inter-ridge depressions. Other relief elements include landslide (6%), proluvial (6%), alluvial (4%) accumulative and colluvial-delluvial (3%), abrasive (2%) and tectonic (0.5%) denudation surfaces. Neotectonic uplifts in the Outer ridge reach 50–70 m, and in the Main ridge – 800 m. Approximately 25% of the study area is prone to landslides based on its geological and geomorphological characteristics. At the same time, significant territories have been classified as highly susceptible to landslides, but no landslides were documented there. We relate this to the lack of geologic investigation of such territories due to their poor economic development.

Keywords: land units, dangerous geological processes, landslides, Sevastopol, Crimea

ACKNOWLEDGMENTS

The work was done as part of a government mission Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS.

REFERENCES

- Gablits K.I. *Fizicheskoe opisanie tavrisheskoi oblasti, po eya mestopolozheniyu, i po trem tsarstvam prirody* (Physical description of the Tauride region, by its location, and by the three kingdoms of nature). St.-Petersburg: I. Weitbrecht Type (Publ.), 1785. 199 p. (in Russ.)
- Florensov N.A. *O geomorfologicheskikh formatsiyakh* (On geomorphological formations). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1971. No. 2. P. 3–10. (in Russ.)
- Kontsepsiya prostranstvennogo razvitiya goroda federal'nogo znacheniya Sevastopolya* (The Concept of spatial development of the Federal city of Sevastopol). LLC Institute of territorial planning "Urbanika" (Publ.), 2015. 379 p. (in Russ.)
- Yudin V.V. *Nadvigovye i khaoticheskie komplekсы* (Thrust and chaotic complexes). Simferopol: IT "ARIAL" (Publ.), 2013. 251 p. (in Russ.)
- Efremov Yu.K. *Opyt morfologicheskoi klassifikatsii elementov i prostykh form rel'efa* (Experience in morphological classification of elements and simple landforms). *Voprosy geografii* (Questions of geography). 1949. Iss. 11. P. 47–64. (in Russ.)
- Borisevich D.V. *Edinyi metod geomorfologicheskogo kartirovaniya v srednikh masshtabakh* (Unified method of geomorphological mapping on medium scales). Moscow: OGGN Publishing house at the USSR Academy of Sciences (Publ.), 1959. 23 p. (in Russ.)
- Borisevich D.V. *Universal'naya legenda dlya geomorfologicheskikh kart* (Universal legend for geomorphological maps). *Geography, New series*. 1950. Vol. III (XLIII). P. 169–182. (in Russ.)
- Borisevich D.V. *Universal'naya morfokhronogeneticheskaya legenda dlya geomorfologicheskikh kart krupnogo, srednego i melkogo masshtaba i printsipy generalizatsii pri perekhode k kartam bolee melkogo masshtaba* (Universal morphochronogenetic legend for geomorphic maps of large, medium and small scale and the principles of generalization in the transition to maps of a smaller scale). *Geograficheskii sbornik 3. Nauchnaya informatsiya v geografii. Teoreticheskie i regional'nye problemy geografii* (Geographical collection 3. Scientific information in geography). *Teoreticheskie i regional'nye problemy geografii (Theoretical and regional problems of geography)*. Moscow: VINITI (Publ.), 1969. P. 137–153. (in Russ.)
- Spiridonov A.I. *Geomorfologicheskoe kartografirovaniye* (Geomorphological mapping). Moscow: Geografiz (Publ.), 1952. 187 p. (in Russ.)
- Efremov Yu.K. *Klassifikatsiya rel'efoobrazuyushchikh faktorov v svyazi s zadachami geomorfologicheskogo kartirovaniya* (Classification of relief-forming factors in connection with the problems of geomorphological mapping). *Voprosy geografii (Questions of geography)*. 1954. Issue 36. P. 71–90. (in Russ.)
- Ermolov V.V. *Voprosy sostavleniya geomorfologicheskikh kart pri srednemasshtabnoi kompleksnoi geologicheskoi s'emke severnykh raionov* (Issues of geomorphological mapping in the mid-scale integrated geological survey of the Northern regions). L.: In-t GEOL. Arctic (Publ.), 1958. 35 p. (in Russ.)
- Ermolov V.V. *Geneticheski odnorodnye poverkhnosti v geomorfologicheskoy kartirovani* (Genetically homogeneous surfaces in geomorphological mapping). Novosibirsk: Ed. SO as USSR (Publ.), 1964. 42 p. (in Russ.)
- Christian C.S. and Stewart G.A. General Report on Survey of Katherine-Darwin Region, 1946. Land Research Series No. 1. Melbourne: CSIRO Australia (Publ.), 1953. 177 p.
- Christian C.S. and Stewart G.A. Methodology of integrated surveys. Aerial Surveys and Integrated Studies. Paris: UNESCO (Publ.), 1968. P. 233–280.
- Story R., Tweedie A.D., van de Graaf R.H.M., and Galloway R.W. General Report on the Lands of the Hunter Valley. Land Research Series No. 8. Melbourne: CSIRO Australia (Publ.), 1963. 156 p.
- Davidson D.A. The assessment of land resources: achievements and new challenges. *Australian Geographical Studies*. 2002. Vol. 40. P. 109–128.
- Novikov I.S. *Obzor stanovleniya otechestvennykh kartograficheskikh issledovaniy v oblasti geologicheskoi geomorfologii (prevratnosti metoda)* (Review of the formation of domestic cartographic research in the field of geological geomorphology (vicissitudes of the method)). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2003. No. 2. P. 28–42. (in Russ.)
- Gustavsson M. and Kolstrup E. New geomorphological mapping system used at different scales in a Swedish glaciated area. *Geomorphology*. 2009. Vol. 110. P. 37–44.
- Gustavsson M., Kolstrup E., and Seijmonsbergen A.C. A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. *Geomorphology*. 2006. Vol. 77. P. 90–111.

20. Gustavsson M., Seijmonsbergen A.C., and Kolstrup E. Structure and contents of a new geomorphological GIS database linked to a geomorphological map – With an example from Liden, central Sweden. *Geomorphology*. 2008. Vol. 95. P. 335–349.
21. van Asselen S. and Seijmonsbergen A.S. Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. *Geomorphology*. 2006. Vol. 78. P. 309–320.
22. Smith M.J., Rose J., and Booth S. Geomorphological mapping of glacial landforms from remotely sensed data: An evaluation of the principal data sources and an assessment of their quality. *Geomorphology*. 2006. Vol. 76. P. 148–165.
23. Minár J. and Evans I.S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*. 2008. Vol. 95. P. 236–259.
24. Siart C., Bubenzer O., and Eitel B. Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. *Geomorphology*. 2009. Vol. 112. P. 106–121.
25. Anders N.S., Seijmonsbergen A.C., and Bouten W. Segmentation optimization and stratified object-based analysis for semi-automated geomorphological mapping. *Remote Sensing of Environment*. 2011. Vol. 115. P. 2976–2985.
26. Romstad B. and Etzelmüller B. Mean-curvature watersheds: A simple method for segmentation of a digital elevation model into terrain units. *Geomorphology*. 2012. Vol. 139–140. P. 293–302.
27. James L.A., Walsh S.J., and Bishop M.P. Geospatial technologies and geomorphological mapping. *Geomorphology*. 2012. Vol. 137. P. 1–4.
28. Novikov I.S. *Morfologiya i istoriya formirovaniya peneplena Altaya na primere Kuraiskogo khrebita* (Morphology and history of formation of the Altai peneplain on the example of the kurai ridge). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 3. P. 70–80. (in Russ.)
29. Mamedov G.M. and Novikov I.S. *Geomorfologiya Dzhungarskoi ravniny i ee gornogo obramleniya* (Geomorphology of the Dzungarian plain and its mountain framing). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 2015. No. 1. P. 88–100. (in Russ.)
30. Novikov I.S., Vysotskii E.M., and Kargopolov S.A. *Geologicheskoe stroenie, rel'ef i neotektonika Chulyshmanskogo nagor'ya (Gornyi Altai)* (Geologic structure, relief, and neotectonics of the Chulyshman Upland (Gorny Altai)). *Geologiya i geofizika (Russian Geology and Geophysics)*. 2016. Vol. 57. No 10. P. 1377–1388. (in Russ.)
31. Tseiner F. *Pleistotsen* (Pleistocene). Moscow: Foreign literature Publishing house (Publ.), 1963. 502 p. (in Russ.)
32. Zeuner F.E. *The Pleistocene Period*. London: Hutchinson (Publ.), 1959. 447 p.
33. Fedorov P.V. *Stratigrafiya Chetvertichnykh otlozhenii Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoi istorii Chernogo morya* (Stratigraphy of Quaternary deposits of the Crimean-Caucasian coast and some questions of the geological history of the Black sea). M.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences (Publ.), 1963. 157 p. (in Russ.)
34. Blagovolin N.S. *Vozrast morfostruktury Gornogo Kryma* (Age of morpostructure of the Mountain Crimea). *Izv. AN SSSR. Ser. geogr.* 1965. No. 2. P. 83–89. (in Russ.)
35. Lysenko N.I. *K voprosu o proiskhozhdenii poverkhnostei vyravnivaniya na Krymskoi yaile* (On the origin of alignment surfaces on the Crimean Yayla). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1972. No. 2. P. 81–85. (in Russ.)
36. Dimitrov P.S. and Govberg L.I. *Novye dannye o pleistotsenovykh terrasakh i paleogeografii bolgarskogo shel'fa Chernogo morya* (New data on Pleistocene terraces and paleogeography of the Bulgarian Black sea shelf). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1979. No. 2. P. 81–89. (in Russ.)
37. Klyukin A.A. *O vozraste opolznei v dolinakh proryva rek cherez kuestovye gryady Kryma* (On the age of landslides in the valleys of river breaks through the Cuesta ridges of the Crimea). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1978. No. 2. P. 72–79. (in Russ.)
38. Blagovolin N.S. *Seismotektonicheskie i seismogravitatsionnye protsessy v Gornom Krymu* (Seismotectonic and seismogravitational processes in the Mountainous Crimea). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1993. No. 2. P. 49–56. (in Russ.)
39. Korzhenevskii B.I. *Gravitatsionnye sklonovye protsessy na yuzhnom beregu Kryma* (Gravitational slope processes on the southern coast of the Crimea). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*, 1992. No. 1. P. 66–72. (in Russ.)
40. Blagovolin N.S. *Voprosy geomorfologii Kryma* (Questions of geomorphology of the Crimea). *Voprosy geografii (Questions of geography)*. Sat. 74. 1968. P. 98–108. (in Russ.)
41. Vail P.R., Mitchum R.M.Jr., and Thompson S. III Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 4. Global cycles of relative changes of sea level. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*. 1977. Vol. 26. P. 83–89.
42. Haq B.U. and Al-Qahtani A.M. Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform. *GeoArabia*. 2005. No 10. P. 127–160.
43. Haq B.U., Hardenbol J., and Vail P.R. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science*. 1987. Vol. 235. No. 4793. P. 1156–1167.
44. Miller K.G., Mountain G.S., Wright J.D., and Browning J.V. A 180-million-year record of sea level and ice volume variations from continental margin and deep-sea isotopic records. *Oceanography*. 2011. Vol. 24. No. 2. P. 40–53.
45. Lysenko N.I. *Novye dannye o miotsenovoii poverkhnosti vyravnivaniya v Gornom Krymu* (New data on the Miocene alignment surface in the Mountainous Crimea). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1976. No. 1. P. 86–90. (in Russ.)
46. Blagovolin N.S. and Klyukin A.A. *Skorost' sovremennoi denudatsii Krymskikh gor* (The Speed of modern denudation of the Crimean mountains). *Geomorfologiya*

- (*Geomorphology RAS*). 1987. No. 4. P. 42–49. (in Russ.)
47. Klimchuk A.B., Timokhina E.I., Amelichev G.N., Dublyanskii Yu.V., and Shtaubvasser M. *Vozrast rel'efa Vnutrennei gryady Gornogo Kryma po U/Th datirovкам kal'tsitovykh otlozhenii karstovykh polostei* (Age of the relief of the Inner ridge of the Mountain Crimea by U/Th Dating of calcite deposits of karst cavities). *Dopovid National Academy of Sciences of Ukraine*. 2012. No. 7. P. 88–95. (in Ukr.)
 48. Klyukin A.A. *Evolutsiya krutykh sklonov Krymskikh gor* (Evolution of steep slopes of the Crimean Mountains). *Geomorfologiya (Geomorphology RAS)*. 1998. No. 3. P. 59–66. (in Russ.)
 49. Lugovoi N.N. *Tipizatsiya, raionirovanie i sostoyanie morskikh beregov Sevastopolya* (Typification, zoning and state of the sea coast of Sevastopol). *Geomorphologists. Issue 7*. Moscow: Media-Press (Publ.), 2016. P. 131–142. (in Russ.)
 50. *Inzhenernaya geologiya SSSR. T. 8. Kavkaz, Krym, Karpaty* (Engineering Geology of the USSR, Vol. 8. Caucasus, Crimea, Carpathians). Buachidze I.M., Dzhanjgava K.I., Churinova M.V. (Eds.). M.: MSU publishing House (Publ.), 1975. 365 p. (in Russ.)
 51. Slavin V.I. *Sovremennye geologicheskie protsessy v Yugo-Zapadnom Krymu* (Modern geological processes in the South-Western Crimea). Moscow: MSU publishing House (Publ.), 1975. 195 p. (in Russ.)
 52. Erysh I.F. and Salomatin V.N. *Opolzni Kryma* (Landslides of The Crimea). Simferopol: Apostrophe publishing house (Publ.), 1999. 422 p. (in Russ.)
 53. Rud'ko G.I. and Erysh I.F. *Opolzni i drugie geodinamicheskie protsessy gornoskladchatykh oblastei Ukrainy (Krym, Karpaty)* (Landslides and other geodynamic processes in the mountainous Regions of Ukraine (Crimea, Carpathians)). Kiev: Zadruga (Publ.), 2006. 620 p. (in Russ.)
 54. Goryachkin Yu.N. and Fedorov A.P. *Opolzni Sevastopol'skogo regiona. Ch. 1. Severnaya storona* (Landslides of the Sevastopol region. Part 1. North side). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon morya* (Environmental safety of the coastal and shelf zones of the sea). 2018. Issue 1. P. 4–12. (in Russ.)
 55. Goryachkin Yu.N. and Fedorov A.P. *Opolzni Sevastopol'skogo regiona. Ch. 2. Gerakleiskii poluostrov* (Landslides of the Sevastopol region. Part 2. Herakleian Peninsula). *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon morya* (Environmental safety of the coastal and shelf zones of the sea). 2018. Vol. 2. P. 4–12. (in Russ.)