

КРЫМСКИЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСХОДНОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Галаганов О.Н., Гусева Т.В., Розенберг Н.К.

ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, 123242, Москва, Россия

e-mail: galagan@ifz.ru, guseva@ifz.ru

В статье представлен исторический экскурс о Крымском геофизическом полигоне, создание которого стало прообразом организации комплексных исследований движений земной коры на геодинамических полигонах. Решение о создании Крымского геофизического полигона для комплексного изучения современных тектонических движений и глубинной структуры земной коры было принято в 1961 году. Реализация комплексных исследований на Крымском геофизическом полигоне выполнялась с участием многих научных, учебных учреждений и производственных предприятий. Важное место в исследованиях уделено изучению вертикальных движений земной коры с помощью высокоточного нивелирования, гравиметрических наблюдений, геолого-геоморфологических и картографических исследований. Данная статья о Крымском геофизическом полигоне написана на основе ротапринта экскурсионного путеводителя XV Генеральной ассамблеи IUGG «Крымский геофизический полигон» авторов Н.С.Благоволина и Т.В.Гусевой, а также данных повторных измерений приращений силы тяжести, выполненных гравиметрическим отрядом С.Н.Щеглова.

Ключевые слова: Крым, полигон, геолого-тектоника, морфоструктуры, геофизика, геодезия, нивелирование, гравиметрия, Ялтинский тоннель.

CRIMEAN GEOPHYSICAL POLYGON: THE RESULTS OF INITIAL GEODYNAMIC MONITORING

Galaganov O.N., Guseva T.V., Rozenberg N.K.

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

This paper aims at the history of the Crimean geophysical polygon. Its creation became the startup for complex study of the earth's crust movements on geodynamic test-sites. The decision to organize the Crimean geophysical polygon was adopted in 1961 for a comprehensive study of recent tectonic movements and the deep structure of the earth's crust. The implementation of integrated research at the polygon is carried out with the participation of many scientific and educational institutions, and manufacturing enterprises. Vertical movements of the earth's crust have been investigated by high-precision leveling, gravimetric surveying, as well geological-geomorphologic and cartographic studies. This paper is based on the Proceedings rotaprint of the excursion guide XV IUGG General Assembly «Crimean geophysical polygon» by N.S.Blagovolin and T.V.Guseva, as well as on the data of repeated measurements of the increments of gravity performed by a gravimetric party headed by S.N.Shcheglov.

Keywords: Crimea, polygon, test-site, geologo-tectonics, morphostructures, geophysics, geodesy, leveling, gravimetry, Yalta tunnel.

Введение

Решение о создании Крымского геодинамического полигона для комплексного изучения современных тектонических движений и глубинной структуры земной коры было принято в 1961 году [7]. В эти годы еще свежа была память о Крымских землетрясениях в июне и сентябре 1927 г. интенсивностью до 8-9 баллов, повлекших за собой человеческие жертвы и сильные разрушения [2].

Энтузиастами организации комплексных геофизических исследований на Крымском полуострове были Ю.Д.Буланже (ИФЗ АН СССР), В.А.Магницкий (МГУ), Ю.А.Мещеряков (ИГ АН СССР), А.А.Изотов (МИИГАиК).

Комплексные геофизические исследования в южной части Крымского полуострова приобретали большое практическое значение как метод возможного прогноза землетрясений и устойчивости береговой полосы и сложных, долговременных инженерных сооружений в ее пределах.

Выбор территории Крыма (рис. 1) для организации полигона был продиктован некоторыми науч-

ными и экономическими соображениями. С точки зрения тектоники и геофизики Крым интересен тем, что он расположен в области перехода от части земной коры с типично континентальной структурой к части океанической коры. Территория полуострова сейсмически активна, характеризуется высоким градиентом гравитационных аномалий и современных тектонических движений, и возможно, существенными скоростями и градиентами современных вертикальных и горизонтальных сейсмических движений.

Реализация комплексных исследований на Крымском геофизическом полигоне выполнялась с участием научных организаций, учебных институтов и производственных предприятий. Предполагалось, что с 1962 г. исследования на Крымском геофизическом полигоне будут вести:

- а) Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) – производство нивелирования и линейных измерений с предварительной рекогносцировкой и закладкой знаков;
- б) Московский институт инженеров геодезии,

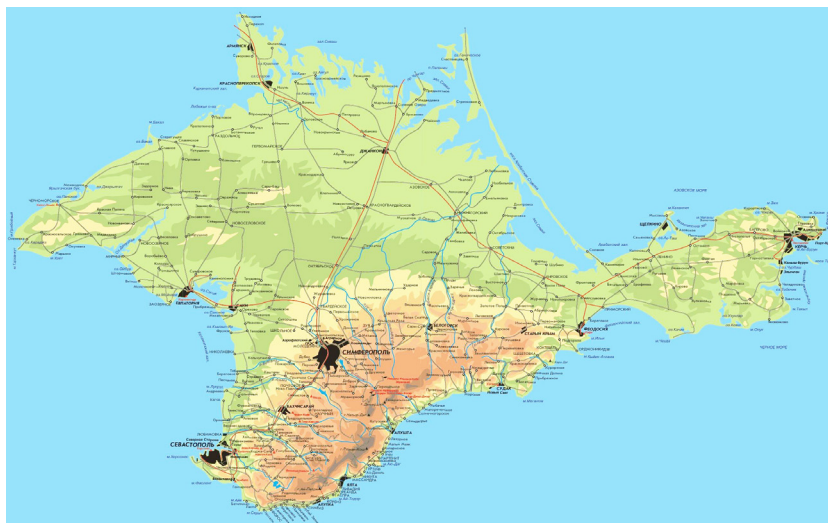


Рис. 1. Карта Крымского полуострова

аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК) – составление проекта и программы астрономо-геодезических работ, проведение высокоточных триангуляционных работ и астрономических определений на пунктах геодезической сети, выполнение гравиметрической съемки сгущения вокруг астропунктов, проведение многократных повторных нивелировок с целью выявления устойчивости реперов и установления короткопериодических колебаний земной поверхности;

в) Институт физики Земли АН СССР (ИФЗ АН СССР) – исследования с наклономерами (включая устройство шахт), организация и совместное с Геофизическим институтом АН УССР проведение глубинного сейсмического зондирования на суше; изучение энергии землетрясений, изучение микросейсм с использованием имеющейся в Крыму сети сейсмических станций;

г) Физический факультет МГУ (кафедра физики земной коры) – изучение распространения поверхностных волн с использованием имеющейся в Крыму сети сейсмических станций, работа с донными сейсмографами; впоследствии – измерение тепловых потоков, составление карты плотностей пород, изучение палеомагнетизма и магнитных свойств пород;

д) Институт географии АН СССР – проведение геоморфологической съемки территории полигона, составление геоморфологической карты, схемы неотектоники и современных тектонических движений, постановка наблюдений за современными экзогенными процессами;

е) Геофизический институт АН УССР – совместное с ИФЗ проведение глубинного сейсмического зондирования на Крымском полуострове;

ж) Научно-исследовательская морская геофизическая экспедиция Министерства геологии и охраны недр СССР – проведение глубинного сейсмического зондирования в прибрежных водах Черного моря.

Для общего руководства и координации исследований была создана Рабочая комиссия по Крымскому геофизическому полигону при Межведомственном геофизическом комитете, в состав которой были включены представители названных выше организаций [7].

Важное место в исследованиях на полигоне уделено изучению вертикальных движений земной коры, которое должно производиться комплексом высокоточного нивелирования с гравиметрическими наблюдениями, а также с геолого-геоморфологическими и картографическими исследованиями.

Общая структурно-геоморфологическая характеристика территории Крымского геофизического полигона

Горный Крым является достаточно интересным природным объектом для исследований. Горы в Крыму занимают южную часть полуострова и представляют собой асимметричное арочное поднятие с крутыми уступами на южном фланге с видом на Черное море, и пологим северным флангом (рис. 2). Горы достаточно высоки (1500 м) только в центральной части, в восточном и западном направлениях их высоты быстро уменьшаются. Структура гор соответствует ядру и северной оконечности мегантиклинория, тогда как восточное и западное крыло – их периклиналям. Количество морфоструктур различного порядка в пределах Крымских гор может быть необычно. Мы имеем в виду большие формы рельефа, появившиеся в результате исторического развития взаимодействия между эндогенными и экзогенными силами с главенствующей, активной ролью эндогенного фактора – тектонических движений.

Вся исследуемая область Горного Крыма может рассматриваться как морфоструктура 1-го порядка; морфоструктуры 2-го порядка представлены основными горными цепями – грядами Горного Крыма и меридиональными межгорными депрессиями, разделяющими их, тогда как морфоструктуры 3-го порядка – отдельными фрагментами хребтов и

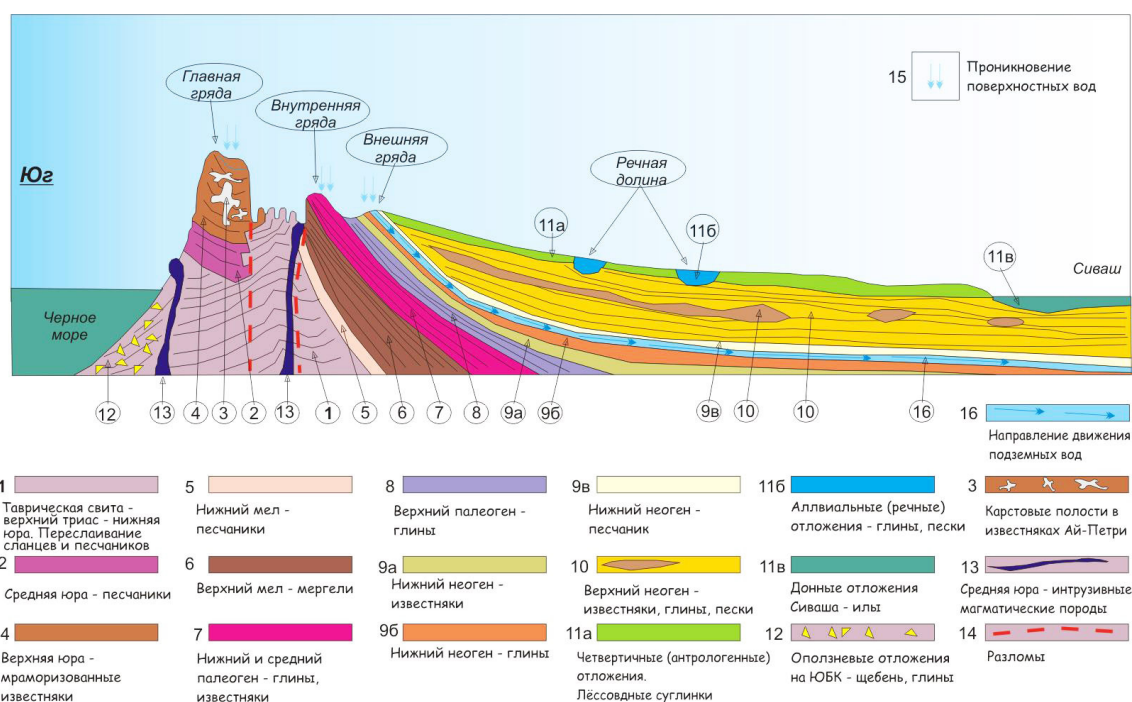


Рис. 2. Схематический геологический разрез через Крымский полуостров [6]

межгорными депрессиями. В формировании морфоструктур высших порядков основная роль принадлежит тектоническим факторам. При переходе к морфоструктурам низших порядков экзогенные факторы приобретают постоянно возрастающее значение.

Имеется две точки зрения относительно возраста морфоструктур Горного Крыма. В работах М.В.Муратова [14,15] называется неоген-четвертичный возраст. С другой стороны, особенности структуры и истории развития Горного Крыма заставили некоторых исследователей относить его, в отличие от Кавказа, к зоне мезозойской складчатости [1,10,11,13,16,17]. С этих позиций происхождение главных элементов морфоструктуры Горного Крыма нужно относить к очень ранним стадиям развития.

Горный Крым отличается от горных структур Карпат и Кавказа тем, что Киммерийское горообразование является результатом консолидации земной коры, вступления тектонических структур в мегантиклинорий, наконец – в полуплатформенный тектонический режим, который позже не менялся. Некоторые исследования [3,17] касаются анализа фаций и условий возникновения нижнего мела и более молодых отложений позволяют указать на глубокое наследование современного рельефа Горного Крыма не только по основным свойствам, но даже и по множеству деталей с Киммерийской структурой. Так, например, прибрежно-морские отложения нижнего мела, ограничивающие породы того же возраста, также намечают основные гряды Крыма; все основные поперечные депрессии нижнего мела (Салгир, Варнут, Байдары) должным образом отражены в современном рельефе.

Структуры Главной гряды, образовавшиеся в

Барремском ярусе, представляют собой в современном рельефе самые высокие горные массивы.

В кайнозой основные элементы рельефа Горного Крыма подверглись существенным изменениям. Наибольшие перегруппировки рельефа имели место в неогене, когда происходило поднятие всей горной структуры как асимметричной арки; широкие поверхности северного фланга (расчлененные на несколько блоков в неогене) испытали дифференцированные смещения, выраженные в сотнях метров: начали формирование внешние хребты Крымских гор и т.д. Длительный эффект денудационных процессов (карста и особенно эрозии) изменил первоначальный внешний вид рельефа, моделируя его новым способом. По-прежнему основные морфоструктурные черты Горного Крыма, в общем-то, имеют очень давние корни: явное наследование, высокая степень сохранности основных элементов мезозойского рельефа гарантирует предположение, что возникновение морфоструктуры Горного Крыма простирается далеко за пределы неотектонического возраста, и это не поздний альпийский (кайнозой), а мезозойский возраст.

В настоящее время следующие морфоструктурные элементы выражены в рельефе Горного Крыма, как показано на рисунках 3 и 4:

Главная гряда – старейшая морфоструктура Горного Крыма, представляет собой арочно-блоковое поднятие, образовавшееся по своим фундаментальным свойствам в период раннего мела (Валанжинский ярус), которое представлено мелководными прибрежными отложениями нижнего мела, фронтонами (Готеривский ярус), окаймляющими ее с севера. Главная гряда состоит из изолированных плоских массивов, построенных в

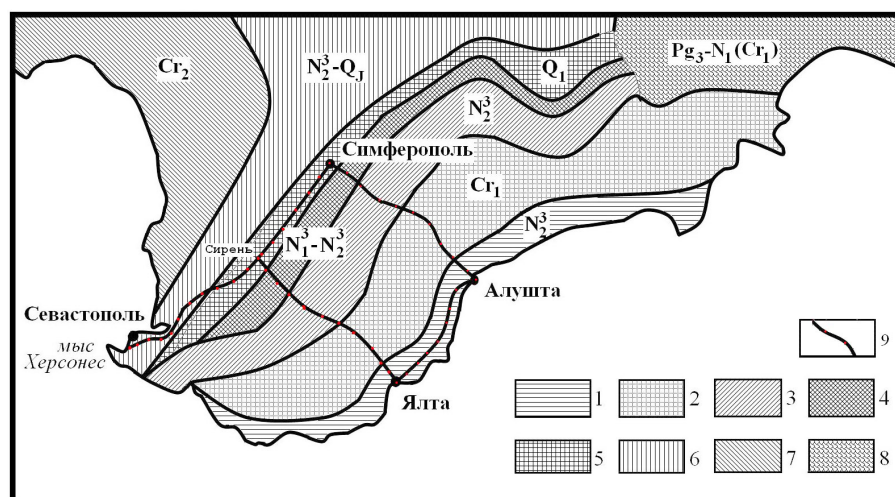


Рис. 3. Структурно-геоморфологическая схема Крымских гор [4].
1 – Южный берег Крыма; 2 – Главный хребет; 3 – Южное меридиональное проседание; 4 – Внутренняя гряда; 5 – Северная краевая долина; 6 – Внешняя гряда; 7 – Альпийская депрессия; 8 – Индольская депрессия, 9 – линия нивелирования I класса. Индексами внутри контуров показан возраст морфоструктур

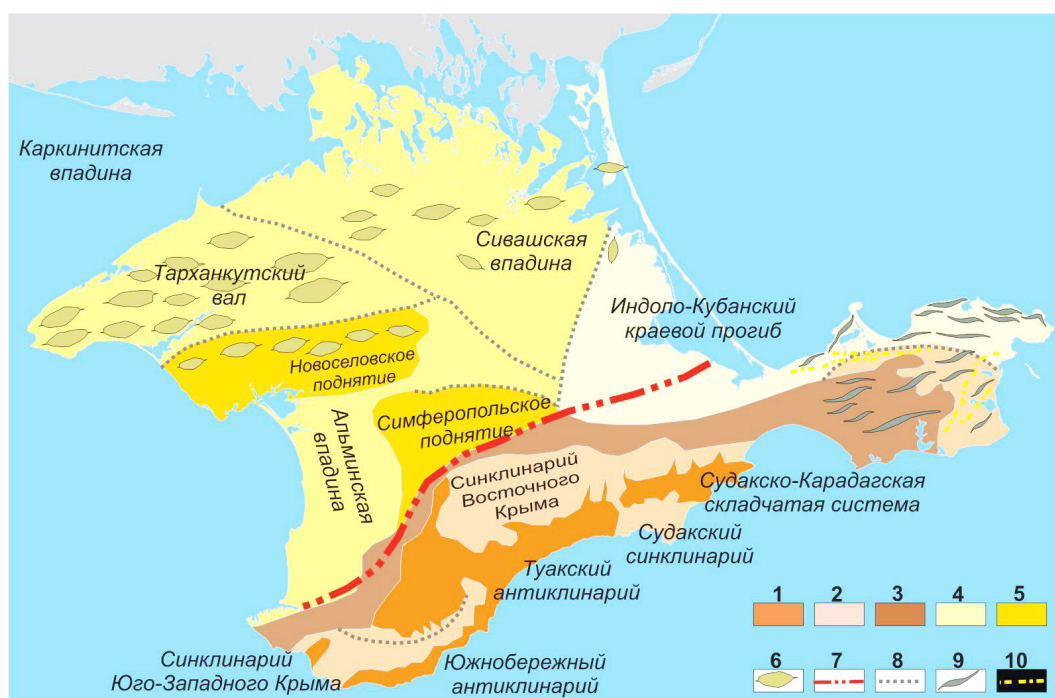


Рис. 4. Схема геологического строения Крыма по [14,6]
Мегантиклинорий горного Крыма: 1 – большие антиклинории, 2 – крупные синклинии, 3 – северное и восточное погружение мегантиклинория. Платформенная часть Крымского полуострова: 4 – участки с глубоким залеганием палеозойского фундамента, 5 – выступ палеозойского фундамента под покровом мезозойских отложений, 6 – Тарханкутско-Джанкойские антиклинали, 7 – предполагаемый глубинный разлом, разделяющий мегантиклинорий горного Крыма и Скифскую платформу, 8 – линии разломов, 9 – антиклинальные складки, 10 – синклинальные складки

основном верхнеюрскими известняками. Горные массивы разделены старыми поперечными эрозионно-тектоническими впадинами, которые, относительно Главной гряды, представляют собой морфоструктуры низшего порядка. Запад Байдарской впадины намного ниже, ее поверхность превращается непосредственно в нижнемеловые отложения северного фланга. С юга Главная гряда разделена высокими уступами, образованными абразионными процессами, континентальной денудацией и глубокими разломами далее на юг в пределах континен-

тального склона. К северу гряда ступенчато спускается, окаймляя глубинную разломную зону Южного продольного оседания.

Южное продольное оседание. Это впадина, протяженная с юго-запада на север между Главной грядой и Внутренней и Внешней грядами Горного Крыма. Ее ширина составляет 10-15 км. Преобладает денудационно-эрозионный рельеф с низкими высотами. Впадина ассоциируется с зоной глубокого разломообразования. В части, где она пересекается с поперечной впадиной или разломом,

оседание значительно расширяется, формируя плоскодонные межгорные впадины, такие как Салгирская, Коккозская, Байдарская и др.

Внутренняя гряда. Она поднимается выше продольной долины крутыми, иногда отвесными флангами. Это типичная куэста с абсолютной высотой гребня 500-600 м, усиленная компактными известняками, относящимися к датскому ярусу верхнего мела с нуммулитовыми эоценовыми известняками. Поверхность куэст постепенно спускается к северу, становясь флангом Северной продольной долины.

Северная продольная долина отчетливо отражается в рельефе; частично характеризуется продольными участками поперечных речных долин (Альма, Бельбек). По происхождению, похоже, это старая эрозионная форма.

Внешняя гряда формирует северный фланг вышеописанной продольной долины и поднимается над ней в крутом, но не очень высоком уступе (40-50 м). Максимальные временные маркеры на его поверхности достигают 250-300 м. На севере и северо-западе она постепенно сливается с равниной Степного Крыма.

В пяти вышеперечисленных основных морфоструктурных элементах Горного Крыма есть также морфоструктуры третьего и более низких порядков. Пять перечисленных морфоструктур имеют не один и тот же возраст. Основные элементы в морфоструктуре Главной гряды формировались в раннемеловой период, Внешняя и Внутренняя гряда являются частями структурно единой Северо-Крымской моноклинали, которая гораздо моложе (мио-плиоцен).

Образование разломов, определяемых продольными опусканиями, и, прежде всего, южнобережным разломом, относится к концу неогена. Нужно отметить, что некоторые морфоструктуры третьего порядка старше (большие депрессии Салгирского, Байдарского типа унаследованы из раннемелового периода), чем те из них, которые возникли по периферии Главной гряды – продольные горные хребты и межгорные депрессии.

Чтобы получить полнейшую и наиболее объективную характеристику современных тектонических и структурно-геоморфологических зон Горного Крыма, была запроектирована трасса повторного нивелирования I класса Крымского нивелирного полигона, которая дважды пересекала Горный Крым.

В эпоху организации работ на Крымском полигоне преобладали классические представления о тектонической природе, основанные на фиксизмском понимании развития Крыма (геосинклинальное развитие и последующее замыкание), в особенности южной его части. Соответственно, Горный Крым – это складчато-блоковая структура. Главны-

ми элементами считаются разноориентированные крутопадающие разломы, сформированные вертикальными движениями блоков земной коры. Наиболее полно подобная модель строения Горного Крыма обоснована в работах М.В.Муратова [5,14,15].

Краткая структурная характеристика нивелирного хода

Знакомство с Крымским полигоном начинается в Симферополе. Первый участок хода (Симферополь–Алушта) представляет большой интерес для изучения современных движений в Горном Крыму и их соотношения с глубинным строением земной коры. Начинаясь у подножия Внешней гряды, ход пересекает основные морфоструктурные элементы Горного Крыма – Внутреннюю гряду, что соответствует северной оконечности мегантиклинория, ядра мегантиклинория в зоне сочленения Качинского антиклинория и Восточнокрымского синклинория, проходя по глубокой структурно-эрозионной долине реки Ангары между массивами Чатыр-Дага и Демерджи, и к югу от течения Ангары входит в зону холмистого рельефа предгорий Туакского антиклинория, внутри которого находится амфитеатр Алушты – рис. 2, 3.

В северной части, в районе Симферополя, нивелирный ход проходит по эрозионно-тектонической долине между Внешней и Внутренней грядой в зоне развития нуммулитовых известняков и глин эоценового возраста, подстилаемых нижнемеловыми мергелями и глинами. Основа слоев здесь сложена среднеюрскими конгломератами, несогласно перекрывающими сланцы Таврической серии (верхнего триаса – нижней юры). Эти конгломераты выходят на ложе Салгира.

Возле Симферопольского водохранилища на реке Салгир ход выходит прямо в зону развития сланцев, входящую в состав Таврической серии; они включают изолированные большие блоки карбоновых (пермских?) известняков. Один из таких блоков содержит временной маркер. Эта часть соответствует поднятию так называемой Месоцуридской гряды (по К.К.Вогту), тогда как по современным представлениям – это северо-восточный отрог Качинского антиклинория, усеченного разломом Салгирского грабена.

Далее на юг ход пересекает обнажение конгломератов верхней юры (Битак) и попадает в Салгирский грабен – см. рис. 5, 6.

Меридионально вытянутый грабен – широкий на юге (до 10 км); в северном направлении он постепенно становится все более узким (до 2 км). Амплитуда разломов в южной части грабена доходит до 500-700 м; в северной части грабена, где развиты отложения верхнего мела и палеогена, разломы не могут быть прослежены.

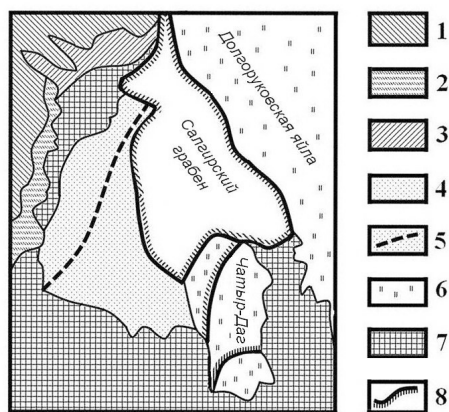


Рис. 5. Схема тектонической структуры Салгирского грабена [15]

1 – моноклиальный комплекс палеогеновых и верхнемеловых отложений на северо-восточном крыле поднятия Горного Крыма, 2 – отложения аптского яруса, 3 – среднеюрские отложения (битакская свита), 4 – нижнемеловые (аптские-альбские) отложения, заполняющие Салгирский грабен, 5 – верхнеюрские (Байраклинские) конгломераты и ось Байраклинской синклинали, 6 – верхнеюрские отложения, 7 – Таврическая свита, 8 – линия разлома

Грабен заполнен нижнемеловыми отложениями, которые находятся в зоне разломов, ограничивающих их и контактирующих с верхнеюрскими породами или прилегающими структурами Таврической серии. Формирование разломов и грабена целиком датируется концом раннего мела; по мере того, как альбские отложения появляются в его структуре, ограничивающие разломы не простираются в область развития верхнемеловых пород Внутренней гряды.

Согласно тектоническим схемам, южный фланг Салгирского грабена проходит приблизительно в районе села Перевальное и разделяет, таким образом, поле меловых пород, находящееся в Салгирской долине. Южная часть Салгирского бассейна находится, по мнению большинства исследователей, за пределами грабена и представляет собой чисто эрозионную форму.

На перегоне между селом Перевальное и Ангарским перевалом ход переходит в западную часть Восточно-Крымского синклинория, в глубоком ущелье между массивами Чатыр-Дага и Демерджи. От

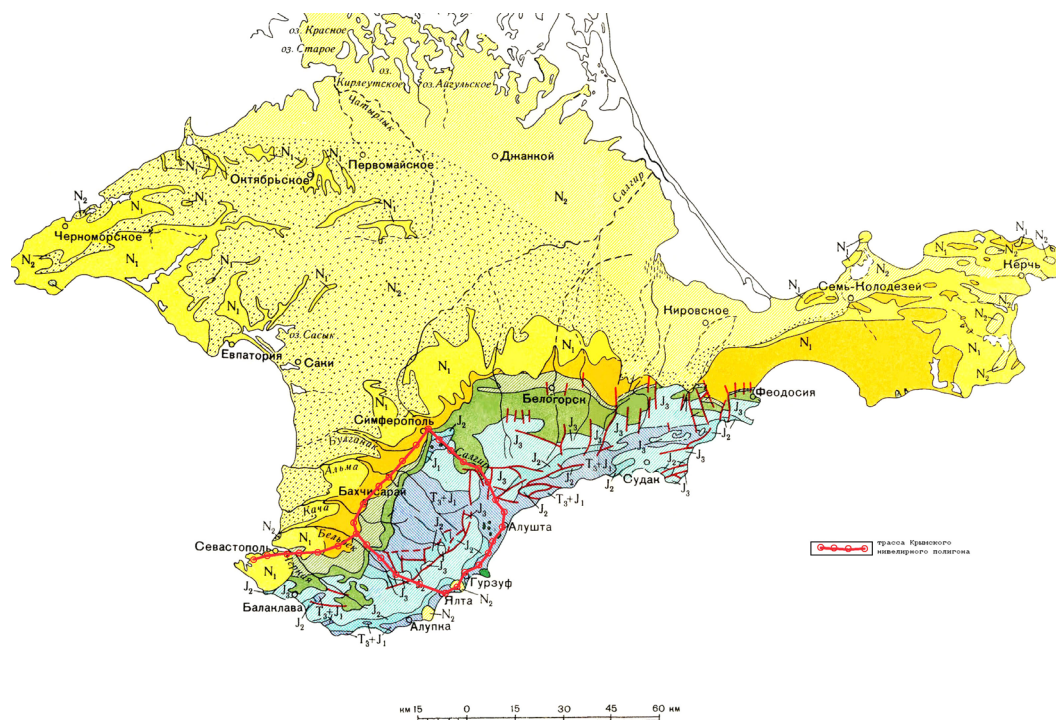


Рис. 6. Трасса Крымского нивелирного полигона на геологической карте Крыма [14]

села Перевальное до реки Курлюк-Су долина содержит выходы глины, а затем нижнемеловые конгломераты (Аптского яруса). Дальше на юг начинаются монотонные сланцы Таврической свиты, локально перекрывающиеся плиоцен-верхнечетвертичными красными отложениями. Структура этой части долины до сих пор не вполне ясна, большая часть геологов-тектонистов, кто работал в Крыму, полагают, что долина Ангары старше, имеет эрозионное происхождение, ее формирование началось в преаптский период, возникло в среднем течении Ангары, в

устье Курлюк-Су, перенесены аптские конгломераты в долину с сильной эрозией. Однако ряд фактов приводит к мысли, что вся верхняя часть Ангарской долины имеет тектоническое происхождение: экстремальная прямолинейность старой долины, крутые уступы массивов Чатыр-Дага и Демерджи, прямолинейность современной долины Ангары.

К югу от Ангары ход пересекает западную оконечность Туакского антиклинория. Большая часть Алуштинского амфитеатра, расчлененная густой сетью сезонных потоков, несомненно, имеет

эрозионное происхождение и обнажает однородную массу Таврических сланцев [3,4].

Изучение современных вертикальных движений земной коры

а) Симферополь – Алушта

В районе Симферополя нивелирный ход проходит по долине Салгира по его второй и первой террасам. В этом регионе Салгир пересекает структурную слегка наклоненную равнину, которая соответствует Северному флангу Внутренней гряды и частично старой эрозионной долине между Внутренней и Внешней грядями. Высокая внедолинная часть города находится на поверхности нуммулитовых эоценовых известняков, слегка пологих на север и формирующих хорошо выраженный уступ в юго-восточной части Симферополя в районе Алуштинского шоссе.

Южнее Симферопольского водохранилища Салгирская долина входит в зону структурно-денудационного низкогогорного рельефа; с запада непосредственно прилегает ступенчатый массив Внутренней гряды, усеченной разломом; она продолжается на восток от долины, но здесь она гораздо ниже и слегка расчленена эрозией – см. рис. 6.

От села Пионерское возле села Перевальное нивелирный ход продолжается вдоль долины Салгира на его первой и второй террасах, поднимаясь до третьей террасы в районе сел Доброе и Заречное.

За пределами села Сорокино ход проходит вдоль долины Ангара (источника Салгира) по ее левому берегу, а после села Сорокино он переходит на правый берег долины. В этом месте долину Ангара пересекает огромный старый эрозионный овраг с ровным, слабо расчлененным рельефом. После Перевального маршрут входит в узкую крутобокую долину, глубоко врезанную между отрогами Чатыр-Дага на западе и Демерджи-яйлы и Долгоруковской яйлы – на востоке. Шоссе проходит довольно высоко над рекой, над плотно и глубоко расчлененным рельефом, характеризующимся холмами с крутыми обрывистыми флангами.

Таким характер рельефа остается до Ангарского перевала. От Ангарского перевала маршрут проходит зону денудационно-эрозионных холмов на северном фланге Алуштинского амфитеатра.

Ход делает много петель, образуя сложную мозаику многочисленных мелких эрозионных форм, которые рассекают фланг на изолированные холмы и удлиненные отроги. В целом маршрут придерживается направления реки Демерджи, но следует непосредственно вдоль ее долины в районе села Нижняя Кутузовка.

Восточнее и в нескольких километрах от шоссе можно видеть отвесный фланг массива Демерджи-яйлы с высотами более 1300 м. Он принадлежит к Главной гряде Крымских гор и состоит из конгломератов и известняков возраста верхней юры. Фланг

этого массива, с видом на шоссе, неоднократно подвергался оползням (1894, 1966, и др.), которые существенно изменили конфигурацию фланга. Сейсмический эффект последнего оползня был записан сейсмической станцией «Алушта», расположенной в 8 км от места схода оползня.

В районе села Нижняя Кутузовка холмистые предгорья постепенно превращаются в равнину Алуштинского амфитеатра, рельеф которого состоит из двух элементов: хребтов с плоскими вершинами, расчлененных на отдельные холмы и простирающихся в сторону моря, и широких плоскодонных долин малых рек и сезонных потоков, которые их разделяют. Ближе к Алуште гребни понижаются и вскоре вся земная поверхность становится однообразной аллювиально-пролювиальной равниной, мягко наклоненной в сторону моря.

б) Алушта – Ялта

От Алушты до Ялты нивелирный ход идет вдоль Южного берега Крыма — самой низкой, наиболее пологой прибрежной части южного фланга Главной гряды Крымских гор. Ее ширина колеблется от 1-2 до 6-8 км, максимальная высота достигает 400-450 м. Этот уступ и прилегающий к нему крутой фланг Главной гряды возник в результате активных тектонических движений различных направлений в течение неоген-четвертичного времени: поднятия Главной гряды и оседания Черного моря.

Южный берег характеризуется глубокими и плотными эрозионными расчленениями, многочисленными оврагами и каньонами. Также присутствуют речные долины с постоянными потоками воды; они создают в приморской части своеобразные эрозионные амфитеатры (Ялта, Гурзуф, Алушта).

Характерной особенностью геолого-инженерных условий на южном побережье являются широко распространенные оползни, которые создают специфический рельеф. Они происходят на склонах крутизной более 15°, состоящих из четвертичных песчано-глинистых и каменистых отложений (в основном продуктов выветривания глинисто-песчаных пород Таврической серии и среднеюрского возраста). Старые оползневые массивы, в настоящее время стабильные, находятся, как правило, на водоразделах. Их толщина превышает 100 м, подножие часто бывает ниже уровня моря.

Современные оползни связаны с оседающими частями склонов, они имеют меньшую толщину (до 50 м) и в основном связаны с уровнем моря.

Все оползни завалены, особенно в местах высокой концентрации грубого обломочного материала. Плоскости оползней являются зонами выветривания подстилающих пород (флишей) или накопления старых оползней.

Самые известные и наиболее активные оползни – Кучук-Кояк и Центрально-Алупкинский (оба к западу от Ялты). Ряд небольших оползней и типично

оползневой рельеф можно наблюдать вдоль шоссе на южном побережье между Алуштой и Гурзуфом.

Очень интересной и характерной формацией на южном побережье Крыма является так называемая Массандровская брекчия (по названию села Массандра и большого винзавода близ Ялты). Это залежи щебня и известняковой брекчии, развитые на водоразделах на южном побережье, состоящие из фрагментов верхнеюрских известняков, иногда сцементированных яркими цветными (красно-коричневыми) глинисто-карбонатными наполнителями – продуктами выветривания известняков. Реже эта масса является сыпучей и включает в себя блоки или целые огромные остатки известняковых массивов. Впервые наблюдатели могли увидеть Массандровские брекчии на спуске с перевала в сторону Алушты, но наиболее широко они встречаются у подножия Чатыр-Дага (выше Алушты), в районе Гурзуфа, вблизи Никитского ботанического сада, недалеко от Ялты, на Массандровском холме. Толщина этих залежений достигает до 100 м и более, везде верхние горизонты, а иногда и вся масса окрашиваются в красный или красно-коричневый цвет.

Имеющиеся геологические разрезы позволяют установить инверсионный характер современного эрозионного рельефа Южного берега Крыма и доказать, что Массандровские массы залегают в оврагах на склонах гор, в водных потоках; они являются отложениями типа селей или пролювия. В последующем развитии рельефа они оказались очень устойчивыми против эрозионных и денудационных процессов. Поэтому молодые эрозионные формы развивались, как правило, в незащищенных рыхлых глинистых сланцах Таврической серии и среднеюрского возраста, что привело к инверсии рельефа: бывшее дно оврагов, укрепленное Массандровскими отложениями, постепенно становится водоразделом и приобретает доминирующее место в рельефе Южного берега Крыма.

в) Симферополь – Бахчисарай

Нивелирный ход Симферополь – Бахчисарай длиной около 35 км проходит с северо-востока на юго-запад вдоль широкого опускания, так называемой «северной продольной долины».

К югу от траверса можно отчетливо увидеть края Внутренней гряды Крымских гор – крутопадающих структурных плоскостей, усиленных густыми нуммулитовыми известняками возраста верхнего мела и эоцена. На северных склонах уступы Внешней гряды состоят в основном из неэоценовых пород и усилены сарматскими известняками. Эта депрессия – результат эрозии и денудации в менее устойчивых эоценовых мергелях; на ее дне сохранилась галечная основа русел старых рек и остались террасы. Депрессия имеет общий угол залегания с северо-востока на юго-запад. Нивелирный ход пересекает реки западный Булганак, Альма и Кача; они

впадают в сильно эродированные долины, в которых можно проследить до пяти террас, старейшая из которых возраста раннего плейстоцена.

При выполнении нивелирования использованы как старые стенные марки (в фундаментах домов, мостов, вокзалов), так и вновь закладываемые (в основном грунтовые). Условия для установки реперов были благоприятными – под сравнительно тонким слоем пород выветривания здесь залегают основные породы эоценовых мергелей.

г) Ялтинский тоннель

Ялтинский тоннель – уникальное гидротехническое сооружение, созданное для улучшения водоснабжения города Ялта и его окрестностей. Строительство осуществлялось коллективом Московского «Метростроя» в 1959-1963 гг. При строительстве тоннеля был проведен большой комплекс геологических, гидрогеологических, геофизических, геохимических, геодезических, маркшейдерских и других работ [9]. Длина тоннеля равна 7.2 км, высота около 2.2 м, высота трассы тоннеля 370-400 м, толщина пород над ним до поверхности яйлы – 1000 м. Вода из Счастливого водохранилища по трубам закачивается в тоннель на Северном портале и далее самотеком идет до Южного портала, далее в накопительные бассейны, а затем в Ялту. Тоннель пробит через Ялтинский горный массив и проходит в основном по крепким карбонатным породам верхней юры, из которых сложена Главная гряда Крымских гор. Однако полностью пройти тоннель в этих породах не удалось. Тоннель пересекает серию блоков, смещенных по сбросам. На полуторакилометровых участках с севера и юга тоннель проходит по среднеюрским песчано-глинистым породам, и только большая средняя часть тоннеля оказалась в верхнеюрских породах. Песчано-глинистые породы средней юры вместе с существенно глинистой таврической серией образуют цокольный водоупор, подстилающий преимущественно карбонатную толщу верхней юры. Выявлен сложный ступенчатый рельеф контакта водоупорной и карбонатной толщи. В основании разреза верхней юры выработанной вскрыта карбонатная брекчия. Геофизические исследования верхнеюрских пород показали их сильную неоднородность. При проходке тоннеля с помощью буровых работ выявлены различные по свойствам типы известняков (слоистые плитчатые и массивные рифогенные), глинистые породы, конгломераты. Полость тоннеля проходит в разных по литологии породах, часто разделенных зонами повышенной трещиноватости разрывных нарушений, горное давление на разных его участках не одинаково. По этой причине облицовка стенок полости различна: в породах средней юры применен бетон и железобетон, а для укрепления верхнеюрской карбонатной толщи применялось просто набрызгивание бетона.

В тоннеле наблюдались интенсивные газовые проявления: поступления метана в брекчированных песчано-глинистых породах происходят в зонах некоторых разломов, а сероводородные выделения — из подземных вод [9].

Изучение современных вертикальных движений земной коры методом высокоточного повторного нивелирования

В 60-70-х годах прошлого века Крымский полигон высокоточного повторного нивелирования располагался на территории геофизического полигона и представлял собой замкнутый нивелирный ход (длиной 180 км) с прилегающим к нему висячим ходом протяженностью 60 км, идущим от железнодорожной станции Сирень. Нивелирный полигон предполагалось связать с несколькими мареографами на побережье Черного моря. Мареографы «Ялта» и «Севастополь» были действующими, в то время как измерения на футштоках «Алушта» и «Херсонес» были остановлены. Наблюдения за уровнем Черного и Азовского морей начались в середине XIX века, но не были регулярными. Измерения уровня моря на Ялтинском футштоке начались в 1876 г., и с несколькими перерывами продолжают до настоящего времени. С 1927 года для таких измерений используется мареограф. Измерения на Алуштинском футштоке проводились с интервалами с 1927 по 1958 год.

Первые высокоточные нивелировки на территории полигона для получения количественных характеристик современных движений земной коры проведены в 1945-1946 гг. Измерения проводились на участке длиной 77 км полигона Симферополь–Сирень–Севастополь вдоль железнодорожной линии и являлись частью хода государственного нивелирования I класса (рис. 7). К 1969 году сохранилось 19 реперов этого нивелирного хода, в том числе 3

фундаментальных, 1 грунтовый и 15 ственных или скальных марок.

Начало работ на Крымском геофизическом полигоне восходит к 1961 году, когда сотрудники МИИГАиК и Института географии АН СССР исследовали участок трассы для будущего полигона. По результатам этой рекогносцировки весной 1962 г. были заложены репера. Ход высокоточного нивелирования следовал вдоль автомобильного шоссе Симферополь – Алушта – Ялта. Его начало в Симферополе совпало с отметкой Государственного нивелирования 1945 года и кончалось на мареографе в Ялте.

Вдоль этой линии были заложены 11 фундаментальных реперов и 24 ственные марки. Летом 1962 г. группа студентов МИИГАиК провела нивелирование 60 км этого хода из Симферополя до горы Ка-стель. В состав группы входила Т.В.Гусева (одна из авторов этой статьи), которая была студенткой 4 курса. Консультирование и контроль организации процесса высокоточного нивелирования осуществил А.К.Певнев. Наблюдения выполнялись нивелиром НА-1. Средняя квадратичная ошибка на 1 км хода составила ± 0.59 мм, а систематическая ошибка ± 0.075 мм; накопление избыточных разностей из прямого и обратного хода составляла +9.0 мм.

В 1963 студенты МИИГАиК выполнили наблюдения вдоль траверса Симферополь – Алушта – Ялта на участке 88 км с помощью нивелира НА-1. Средняя квадратическая погрешность на 1 км хода была равной ± 0.75 мм, а систематическая ошибка ± 0.13 мм; накопление разности высот в прямом и обратном ходе составляет 22.6 мм. К недостаткам работы 1962-1963 гг. можно отнести следующее:

1) Очень маленькая сеть грунтовых реперов (среднее расстояние между грунтовыми марками составляет около 8 км),



Рис. 7. Трасса Ялта – Васильевка – Южный портал тоннеля. Нивелирование 1964 г. от ск. рп. 478 к Южному portalу тоннеля

- 2) Большие систематические ошибки,
- 3) Оба нивелирных хода не были связаны с футштоком в Ялте или, по крайней мере, с надежным репером рядом с ним.

В начале 1964 года Институт физики Земли и Институт географии АН СССР совместно разработали проект продления сети нивелирования. Проект предусматривал создание замкнутого нивелирного хода по трассе Ялта – Бахчисарай – Сирень – Симферополь – Алушта – Ялта. Создание такого кольца стало возможным после строительства ялтинского гидротехнического туннеля, который позволяет: 1) пересечь Крымские горы нивелирным ходом на высотах не более 350 м, 2) наблюдать возможные деформации в пределах горного массива.

Весной 1964 года прежняя трасса нивелирования была осмотрена и разведана для выбора мест установки дополнительных реперов вдоль новой трассы и сгущения сети реперов вдоль прежней. Новая трасса нивелирования начинается от Ялтинского футштока, поднимается вдоль шоссе к горам, пересекает их высокую часть по гидротехническому тоннелю (7.2 км) и из села Счастливое по шоссе вдоль реки Бельбек достигает станции Сирень. Затем по железной дороге следует в Симферополь через Бахчисарай, частично совпадает с линией Государственного нивелирования I класса 1945 года. В обследовании трассы приняли участие геоморфолог, геолог и геодезист. Ими были рекомендованы места установки реперов так, чтобы расстояние между ними не превышало 2-3 км, с закреплением грунтовых реперов по возможности в коренных скальных породах. Предусматривался удобный подход к реперам и условия их долговременной сохранности.

Стенные марки планировалось установить на старых прочных строениях и на коренных крепких скальных выходах. В августе-сентябре 1964 г. была проведена закладка реперов. Нивелирный ход в основном фиксировался грунтовыми реперами. Эти репера представляли собой железобетонные пилоны, на верхней грани пилона забетонирована марка. Глубина закладки грунтовых реперов составляла 1.8-2.0 м, фундаментальных – 2.5 м. Для обеспечения долговременной сохранности вокруг реперов была предусмотрена окопка в виде канавы и устанавливались 2 пилона с названием репера.

Предприятие ГУГК по договору с ИФЗ выполнило нивелирование I класса замкнутого хода полигона с 1 октября 1964 г. по 10 января 1965 г. Рельеф трассы очень сложный, имеет большие наклоны, достигающие 0.06 при подходе к Ангарскому перевалу и даже 0.08 на некоторых участках. В этих случаях на 1 км хода предусматривалось 40 промежуточных станций. Общее количество станций на 180 км составляет 3020, т.е. среднее расстояние между инструментом и рейкой составило 28 м. Наблюдения проводились с помощью нивелира Zeiss Ni 004.

Ошибка замыкания полигона составила 43.2 мм при допустимом значении ± 53.6 мм, средняя квадратичная случайная ошибка ± 0.65 мм на 1 км нивелирного хода.

Следующее нивелирование замкнутого полигона выполнялось Львовским политехническим институтом по договору с ИФЗ с 8 июня по 25 сентября 1966 г. Кроме повторного нивелирования, для определения деформации поверхности Земли также изучалось воздействие внешних условий на точность геометрического нивелирования. Нивелирование выполнялось нивелирами Zeiss Ni 004, Konі 007. Ошибка замыкания полигона составляла -2.3 мм, средняя квадратичная случайная ошибка на 1 км – ± 0.62 мм, систематическая – ± 0.088 мм – см. рис. 8. По анализу результатов этого нивелирования был сделан вывод, что накопление систематических ошибок было вызвано выпучиванием «костылей» переходных точек.

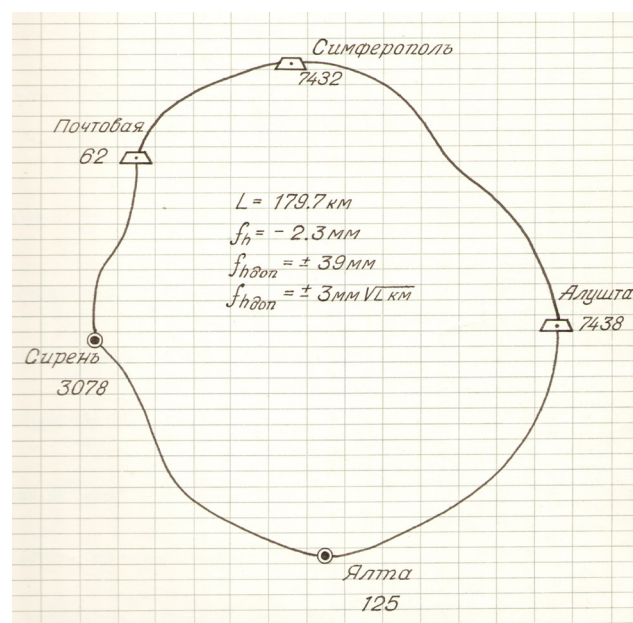


Рис. 8. Схема основных трасс нивелирования замкнутого полигона в 1966 г.

Последнее нивелирование замкнутого полигона выполнено с 9 октября 1969 г. по 9 января 1970 г. предприятием ГУГК по договору с ИФЗ. Измерения проводились нивелиром Ni 004. Ошибка замыкания полигона – 15 ± 1.6 мм, средняя квадратичная случайная ошибка – ± 0.7 мм. Работы 1969 года не ограничивались только повторными измерениями закрытого нивелирного хода. Висячий ход начинался от реперов станции Сирень и шел через Севастополь до мыса Херсонес. На участке Сирень – Севастополь эта трасса полностью совпадает с нивелирным траверсом 1945 г., а на участке Севастополь – мыс Херсонес нивелирование было выполнено впервые.

Обследование старых реперов и установка новых проводились в августе-сентябре 1969 г. Цель этих работ была: 1) получить количественные

данные о вертикальных движениях земной поверхности по сравнению с 1945 г.; 2) связать нивелирные хода с футштоками в Ялте и Севастополе, где проводились долгосрочные наблюдения за уровнем моря. Наблюдения на данном участке выполнялись с 3 ноября по 4 декабря 1969 года нивелиром Ni 004. Нивелирный ход имел длину 60 км. Накопление средних разностей прямого и обратного хода составило 1.3 мм, средняя квадратичная случайная ошибка получилась равной ± 0.38 мм, а систематическая – ± 0.04 на 1 км хода.

Все вышеперечисленные нивелировки выполнены по программе I класса в соответствии с «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV класса» 1962 г. [8], таблица 1.

Как отмечалось выше, превращение нивелирного хода Крымского полигона в кольцо стало возможно с замыканием его через Ялтинский гидротехнический тоннель. Обследование тоннеля, закладку реперов, ежегодные нивелирования выполняли сотрудники Автономного отряда Отдела экспериментальной гравиметрии ИФЗ АН СССР под руководством и при участии А.К.Певнева по соглашению и разрешению руководства Ялтинского водоканала. Стажировку по нивелированию тоннелей проходили сотрудники из других подразделений Академии наук. Обследование тоннеля на предмет выполнения работ показало, что проводить измерения можно только по переходным точкам – металлическим стержням со сферической головкой, закрепленным в своде тоннеля через каждые 100 м. Закрепление

металлических стержней в своде тоннеля показано на рис. 8. Первое нивелирование тоннеля весной 1964 г. показало необходимость сгущения переходных точек до 50 м между ними, что и было выполнено геодезическо-гравиметрическим отрядом в марте 1965 г. при участии Ю.Н.Авсюка (член-корреспондент РАН с 1997 г.).

Сложность работ в тоннеле была связана с несколькими причинами. Работа велась только в ночное время суток, когда останавливался основной поток воды и включалась мощная вентиляция на северном портале. Несмотря на отключение спуска воды, поток воды всегда оставался за счет поступления ее через трещины в облицовке и достигал 30 см к Южному portalу. Температура воздуха в тоннеле не превышала 10° С при большой влажности и с ветром из-за вентиляции. Входить в тоннель можно было только пройдя дезинфекцию резиновых сапог хлорным раствором. Для подсветки прибора, шкалы реек, журнала наблюдений использовали электрические фонарики. Для освещения инварной полосы рейки были сконструированы специальные приспособления. Нивелирование выполнялось прибором Koni 007 и рейками с инварной полосой фирмы Цейсс длиной 1.8 м. Фрагменты рабочих моментов представлены на рис. 9 и 10.

Обработка и точность измерений

Перед началом работ выполнялись все требуемые проверки приборов и реек, обязательным было эталонирование реек на компараторе МИИГАиК-1 [8].

При камеральной обработке в измеренные

Таблица 1

Сводка эпох нивелирования, ответственных исполнителей, инструментов

№	Эпоха нивелирования	Исполнитель	Нивелирный ход	Длина, км	Инструмент
1	1945	ГУГК, Гос-венное нив-е I класса	Симферополь – Сирень – Севастополь	77	Zeiss A
2	18.06. - 27.10.1962	МИИГАиК	Симферополь – Алушта – Кастель	60	NA-1
3	17.05 - 26.08.1963	МИИГАиК	Симферополь - Алушта – Ялта	88	NA-1
4	1.10.1964 – 10.01.1965	ГУГК, по договору с ИФЗ АН СССР	Симферополь - Алушта – Ялта – Сирень – Симферополь	180	Zeiss Ni 004
5	8.06. - 25.09.1966	Львовский политехнический ин-т, по договору с ИФЗ АН СССР	Симферополь - Алушта – Ялта – Сирень – Симферополь	180	Zeiss Ni 004
6	9.10.1969 - 9.01.1970	ГУГК, по договору с ИФЗ АН СССР	Симферополь - Алушта – Ялта – Сирень – Симферополь	180	Zeiss Ni 004
7	3.11. - 4.08.1969	ГУГК	Сирень – Севастополь – Херсонес	60	Zeiss Ni 004
8	1964, 03.1965, 1966, 03.1967. 1968, 1969, 04.1970	ИФЗ АН СССР	Ялтинский тоннель	7,5	Ni-004, Koni 007



Рис. 9. Фрагменты рабочих моментов в тоннеле: закрепление переходных точек в своде тоннеля (Урманцев Ф.), нивелировка с участием Гусевой Т.В. и Самойлова В.

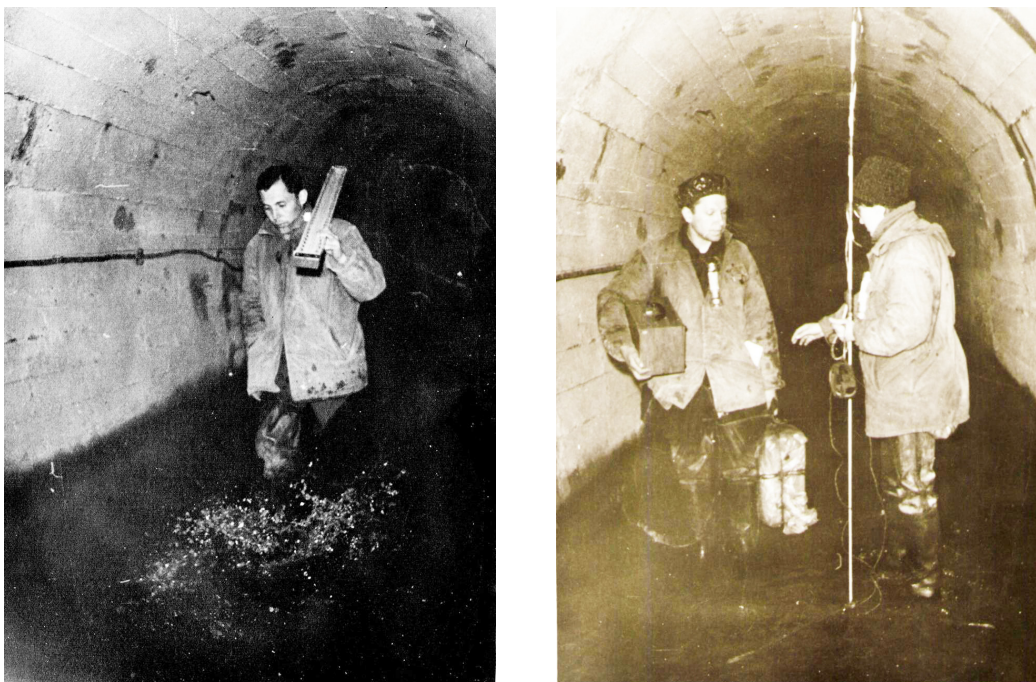


Рис. 10. Фрагменты рабочих моментов в тоннеле: В.А. Сидоров переходит с рейкой на следующую переходную точку, А.К. Певнев и С.В. Энман проводят измерения температурного режима в тоннеле

превышения вводились две поправки:

1) Поправка в превышения по секциям за среднюю длину метра комплекта реек по результатам эталонирования реек на компараторе МИИГАиК-1, вычисляемая по формуле

$$\delta h = (L_{cp} - 1000,0) \times h,$$

где L_{cp} – средняя длина метра комплекта реек в мм; h – среднее превышение в метрах, δh – средний поправочный коэффициент, определяемый на компараторе МИИГАиК.

2) Поправка в значения превышений, полученных из нивелирования в прямом и обратном направлениях, вычислялась отдельно по формуле:

$$\delta h = \alpha(t_n - t_3)h,$$

где α – средний коэффициент линейного расширения инварной ленты, принимаемый равным 0.0016

мм на 1° , t_3 – температура реек при эталонировании, t_n – средняя температура воздуха при нивелировании, h – превышения по секции в метрах.

Точность нивелирования оценивалась по формулам:

средняя квадратичная случайная ошибка на 1 км хода

$$\eta^2 = \frac{1}{4(n - N)} \cdot \left\{ \left[\frac{d^2}{r} \right] - \left[\frac{S^2}{L} \right] \right\}$$

и средняя квадратичная ошибка на 1 км хода

$$\sigma^2 = \frac{1}{4[L]} \cdot \left\{ \frac{1}{4} \left[\frac{S^2}{L} \right] - N\eta^2 \right\}$$

где n – количество секций, N – количество полигонов, d – ошибка замыкания в мм,

$$d_5 = h_{\text{прав}} - h_{\text{ср лев}},$$

$$d_6 = h_{\text{ср прям}} - h_{\text{ср обр}}$$

r – длина секции в км, S – накопление ошибок замыкания по всей длине, L – длина хода, см. таблицу 2.

Результаты повторного нивелирования

Сравнение результатов нивелирования разных лет было проведено при предположении, что репера в районе Ялтинского и Севастопольского футштоков неподвижны.

На рис. 11а представлены графики относительных изменений относительных высот марок ΔH в мм на период 1945-1969 гг. по линии Севастополь – Сирень – Симферополь. Даже по небольшому участку трассы можно заключить, что в течение 24 лет вертикальное положение реперов вблизи побережья фактически не изменялось относительно

реперов возле Севастопольского футштока. В 10 км от исходного репера начинается опускание реперов, которое продолжается и далее. В районе станции Сирень смещения реперов достигают 26 мм, т.е. средняя скорость за эти годы составила 1.0 мм/год. В районе Симферополя средняя скорость опускания реперов уменьшилась до 0.5 мм/год.

На рис. 11б представлен график изменения высоты реперов замкнутого полигона за периоды 1964-1966 гг. (сплошная линия) и 1964-1969 гг. (пунктирная линия), а также изменение высоты между нивелировками 1962 и 1963 годов по данным студенческой нивелировки.

Анализируя участок Ялта – Алушта – Симферополь, можно сказать, что за период 1964-1966 гг. репера, расположенные вдоль Южного берега Крыма, фактически не изменяли свое положение; в районе Алушты обозначилась зона опускания, которая

Таблица 2

Сводка ошибок

№	Эпоха нивелирования	L, км	Ошибки, мм					Кол-во секций	Кол-во станций
			f	η_s	η_6	σ_s	σ_6		
1	1962	60	+9.0	±0.51	±0.59	±0.73	±0.075	26	1261
2	1963	88	+22.6	±0.18	±0.75	±0.01	±0.13	35	1720
3	1964-1965	179.5	+42.1	±0.32	±0.65	±0.04	±0.00	73	3020
4	1966	179.7	-2.3	±0.32	±0.62	±0.02	±0.088	73	3460
5	1969-1970	180	-33.1	±0.24	±0.53	0.00	±0.07	75	2982
6	1969	60	+1.3	±0.18	±0.38	±0.03	±0.04	17	352

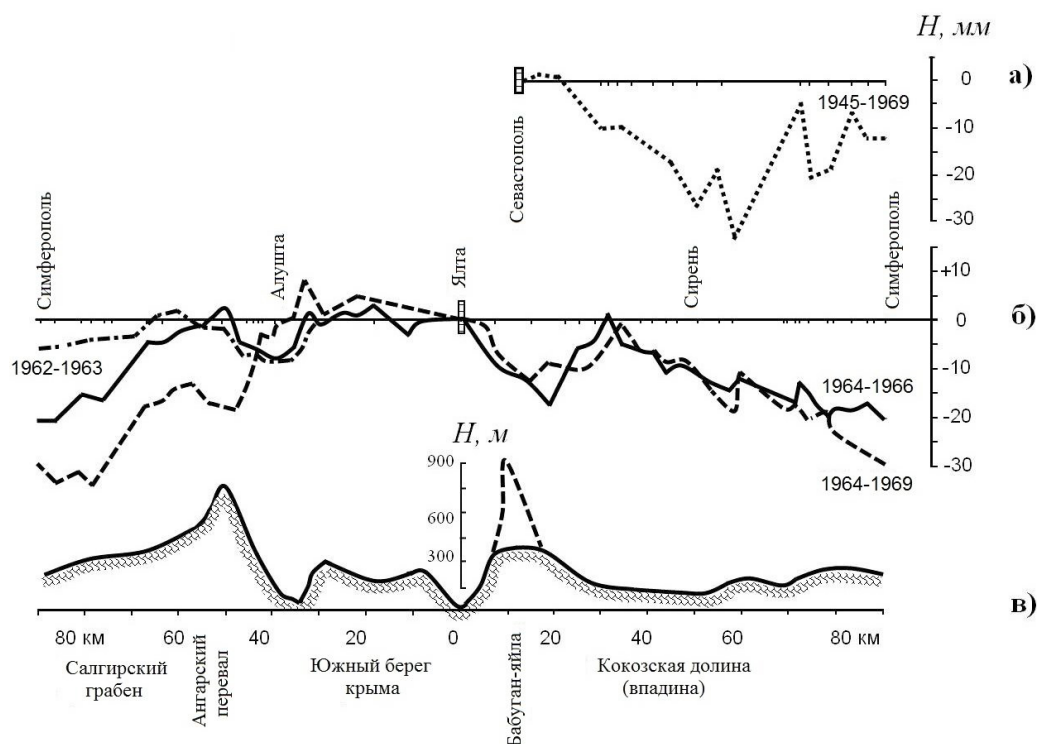


Рис. 11. Результаты повторного нивелирования на Крымском полигоне

а) – графики вертикальных смещений реперов вдоль линии Севастополь – Симферополь 1945-1969 гг.; б) – графики вертикальных смещений реперов на замкнутом полигоне Симферополь – Алушта – Ялта – Сирень – Симферополь в 1964-1966 гг., 1964-1969 гг.; в) – гипсометрический профиль нивелирного хода замкнутого полигона

проходит почти до Ангарского перевала. После перевала значения просадки реперов относительно их положения в 1964 году постепенно увеличивались до 20 мм в Симферополе. Вдоль другой ветки полигона Ялта – Сирень – Симферополь для 1964-1966 гг. выделяется опускание в области Главной (Бабуган-яйла) и Внешней гряд. На северном склоне этого массива оседание уменьшается до нуля, затем значение отрицательного смещения вновь возрастает до Симферополя. Кривая графика 1964-1969 гг. показывает, что на участке Ялта – Алушта репера подвергаются некоторому поднятию, но после Алушты начинается уменьшение смещения реперов, которое продолжается до Симферополя. На участке Ялта – Сирень – Севастополь кривая изменения высотного уровня за период 1964-1969 г. фактически совпадает с данными изменений за 1964-1966 г. Только в 12 км от Симферополя начинается значимое расхождение смещений реперов за разные периоды. Смещения реперов, находящихся в конце нивелирного хода, достигают 30 мм за 5 лет (в период 1964-1969 г.), т.е. средняя скорость опускания составила 6 мм/год.

На рис. 11в показан гипсометрический профиль вдоль замкнутого нивелирного хода. Поскольку в регионе Бабуган-яйлы трасса хода проходит в туннеле, фактический рельеф Главной гряды показан пунктирной линией.

Полученные результаты дают возможность отличить группы реперов на Крымском полигоне, где вертикальные смещения имеют аналогичный характер:

- 1) с незначительным положительным или отрицательным смещением реперов относительно друг друга – Южный берег Крыма, регион Севастополя;
- 2) с отрицательным вертикальным смещением относительно реперов на побережье – почти все другие репера. Группе реперов, расположенных в Салгирской впадине, свойственно нарастание опускания. Вертикальные смещения реперов, расположенных в районе Бабуган-яйлы и Кокзоской доли-

ны, очевидно, имеют колебательный характер.

Астрономо-геодезические и гравиметрические измерения

Программа работ по изучению современных движений земной коры на Крымском геофизическом полигоне помимо нивелировок также включала выполнение астрономо-геодезических и гравиметрических наблюдений на специально созданной сети из 18 пунктов, рис. 12.

Крымский геодезический полигон МИИГАиК, состоящий из сети, включающей в себя 18 астрономо-геодезических пунктов, занимал площадь около 600 кв. км, пересекал линию нивелирования I класса вдоль шоссе Симферополь – Алушта – Ялта.

Астрономо-геодезические работы должны сопровождаться гравиметрическими измерениями. Для приведения гравиметрических наблюдений к единой общегосударственной системе в августе 1962 г. по просьбе МИИГАиК сотрудниками Отдела экспериментальной гравиметрии ИФЗ АН СССР на территории полигона проведены высокоточные гравиметрические определения на 6 пунктах: Симферополь, Алушта, Ялта, Кутузовский фонтан, Ангарский перевал, Рыбачье. Эти пункты послужили гравиметрическим базисом для полевого эталонирования гравиметров, используемых в Крымской экспедиции МИИГАиК.

По заданию Ю.Д.Буланже специалистами Гравиметрического отряда под руководством С.Н.Щеглова в августе 1962 г. выполнена исходная эпоха измерений приращений ускорений силы тяжести между пунктами (Δg). Средняя квадратическая ошибка определения (m_g) составляла 0.1 мГал. При работах использовался комплект из четырех гравиметров ГАЭ-3, которыми выполнено от 3 до 9 связей между пунктами. Местоположение гравиметрических пунктов не закреплялось марками, но подробно описывалось, зарисовывалось и фотографировалось [4].

Общая схема гравиметрической сети



Рис. 12. Вид пунктов астрономо-геодезической сети на высотках Сайнын – Бурну и Белая

представлена на рис. 13. На рис. 14 показано, как выполнялись наблюдения на гравиметрических пунктах.

Следующие три эпохи повторных измерений на пунктах полигона были выполнены в 70-х годах прошлого века с использованием четырех комплектов более совершенных гравиметров ГАГ-2. Точность измерений приращений силы тяжести между пунктами была в несколько раз лучше, чем при измерениях 1962 г., и составляла в 1971 г. и 1976 г. $m_g=0.03$ мГал, а в 1973 г. $m_g=0.02$ мГал. В результате сравнения значения Δg последних и первой эпохи измерений выявлены всего две связи (Симферополь–Перевал и Сирень–Соколиное), изменение значений Δg которых составляет $(0.3 \div 0.4)$ мГал, т.е.

превышает оценочные ошибки их определения.

Заключение

Создание Крымского геофизического полигона позволило получить данные, представляющие исключительно большой теоретический интерес и имеющие важное практическое значение для исследований развития геодинамических процессов на полуострове. Выявленные участки с повышенными скоростями вертикальных движений и изменений приращений ускорений силы тяжести свидетельствуют об активности геодинамических процессов. Эти работы, безусловно, стали крупным вкладом в науку, который упрочил ведущее положение советских специалистов в области изучения современных движений земной коры.

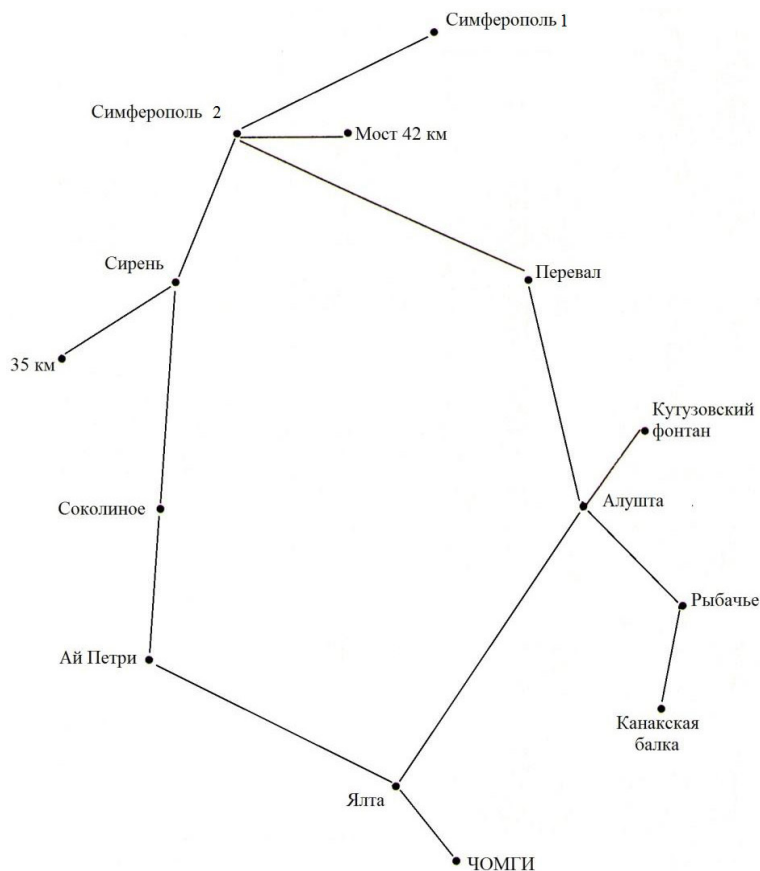


Рис. 13. Схема Крымского гравиметрического полигона ИФЗ АН СССР 1962 г.

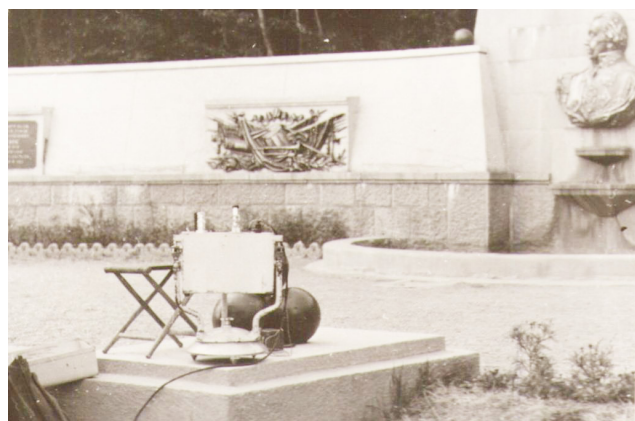


Рис. 14. Местоположение гравиметрических пунктов: Кутузовский фонтан и Ай Петри

Продолжение исследований современных движений земной коры в настоящее время базируется на широком внедрении спутниковых геодезических методов. Помимо огромного научного интереса, эти

исследования также бесспорно имеют практическое значение благодаря постоянно расширяющемуся курортному, жилищному и промышленному строительству в Крыму.

Список литературы

1. Архангельский А.Д. Геологическое строение и геологическая история СССР. Т. 1. М.-Л.: Госгеоллиздат, 1947.
2. Аркадьев В.В. Геологические экскурсии по Крыму. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И.Герцена, 2010. 132 с. ISBN 978-5-8064-1503-6
3. Благоволин Н.С. Изучение современных тектонических движений на Крымском геофизическом полигоне // Современные движения земной коры. №2. Тарту: АН ЭССР. 1965. С. 25-30.
4. Благоволин Н.С., Гусева Т.В. Крымский геофизический полигон. Путеводитель экскурсии XV Генеральной Ассамблеи IUGG. Ротапринт. М.: ЦНИИГАиК. 1971. 33 с. (на рус. и англ. языках).
5. Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. 1. Геологическое описание / Ред. М.В. Муратов. М.: Недра. 1969. 576 с.
6. География Крыма / Под ред. П.Д.Подгорельского, В.Б.Кудрявцева. Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное изд-во, 1995. 224 с.: илл., карт.
7. Изотов А.А., Буланже Ю.Д., Магницкий В.А., Мешеряков Ю.А., Благоволин Н.С. О создании Крымского геофизического полигона для изучения глубинного строения земной коры и современных тектонических движений // Геофизический бюллетень. 1962. №12. М.: АН СССР. С. 81-87.
8. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М.: Геодезиздат. 1963.
9. Комплексные изыскания при строительстве гидротоннеля в карстовой области Горного Крыма / Ред. Б.Н.Иванов. Симферополь, 1971. 218 с.
10. Кузнецов С.С. Читай книгу по геологии Крыма. Вестник ЛГУ, серия геологическая, географическая. вып. 4. 1961. №24.
11. Мазарович А.Н. Основы региональной геологии материков. Ч. 1. М. 1951.
12. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра. 1969.
13. Моисеев А.С. Основные черты строения Горного Крыма. Труды Ленинградского об-ва естествоиспытателей. Т. 64. Вып. 1. Л. 1935.
14. Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М. 1960.
15. Муратов М.В., Маслакова Н.И. Салгирский грабен в Южном Крыму. Труды МГРИ. Т. 28. 1955.
16. Пчелинцев В.Ф. Образование Крымских гор. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1962.
17. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра. 1964.
18. Олиферов А.Н., Гольдин Б.М. Реки и озера. Из серии «Природа Крыма». Симферополь, изд-во «Крым». 1964.

References

1. Arkhangel'skiy A.D. Geological structure and geological history of the USSR. V. 1. Moscow-Leningrad. *Gosgeolizdat*. 1947.
2. Arkad'ev V.V. Geological excursions around the Crimea. St. Petersburg. Publishing House of the RGPU A.I.Gercena. 2010. 132 p. ISBN 978-5-8064-1503-6.
3. Blagovolin N.S. The study of modern tectonic movements on the Crimean geophysical test site. *Sovremennye dvizheniya zemnoy kory*. No. 2. Tartu: AN ESSR. 1965. Pp. 25-30.
4. Blagovolin N.S., Guseva T.V. Crimean geophysical training ground. The guide of the XV excursion of the General Assembly IUGG. Rotaprint. Moscow. TsNIIGAik. 1971. 33 p.
5. Geology of the USSR. V. 8. Crimea. Part 1. Geological description. Ed. M.V.Murатов. Moscow. *Nedra*. 1969. 576 p.
6. Geography of the Crimea. Ed. P.D.Podgorelsky, V.B.Kudryavtsev. Simferopol: Crimean educational and pedagogical state publishing house. 1995. 224 p. ill. maps.
7. Izotov A.A., Boulanger Yu.D., Magnitsky V.A., Meshcheryakov Yu.A., Blagovolin N.S. On the creation of the Crimean geophysical training ground for studying the deep structure of the earth's crust and modern tectonic movements. *Geofizicheskiy byulleten'*. 1962. No. 12. Moscow. AN SSSR. PP. 81-87.
8. Instructions for leveling I, II, III and IV classes. Moscow. *Geodezizdat*. 1963.
9. Comprehensive research in the construction of a hydrotunnel in the karst area of the Mountainous Crimea. Ed. B.N.Ivanov. *Simferopol*. 1971. 218 p.
10. Kuznetsov S.S. Reading a book on the geology of Crimea. *Vestnik LGU, seriya geologicheskaya, geograficheskaya*. P. 4. 1961. No. 24.
11. Mazarovich A.N. Basics of regional geology of continents. P. 1. Moscow. 1951.
12. Milanovsky E.E. The newest tectonics of the Caucasus. Moscow. *Nedra*. 1969.
13. Moiseev A.S. The main features of the structure of the Mountainous Crimea. Proceedings of the Leningrad Society of Naturalists. V. 64. P. 1. Leningrad. 1935.
14. Muratov M.V. A short sketch of the geological structure of the Crimean peninsula. Moscow. 1960.
15. Muratov M.V., Maslakova N.I. Salgir graben in the Southern Crimea. Proceedings of MGRI. V. 28. 1955.
16. Pchelintsev V.F. Education of the Crimean Mountains. Moscow-Leningrad. Publishing House of the AN SSSR. 1962.
17. Khain V.E. General geotectonics. Moscow. *Nedra*. 1964.
18. Oliferov A.N., Goldin B.M. Rivers and lakes. From the series «Nature of the Crimea». Simferopol. Publishing House of the «Crimea». 1964.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Галаганов Олег Николаевич

кандидат физико-математических наук, заместитель директора ИФЗ РАН, заведующий лабораторией «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, 123242, Москва, Россия

Гусева Тамара Вениаминовна

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, 123242, Москва, Россия

Розенберг Наталия Климентьевна

старший научный сотрудник лаборатории «Спутниковых методов изучения геофизических процессов», ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, 123242, Москва, Россия

Information about authors
Affiliations

Galaganov Oleg Nikolaevich

Candidate of Physico and Mathematical sciences, Deputy Director of IPP RAS, head of the laboratory «Satellite methods of studying geophysical processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Guseva Tamara Veniaminovna

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of «Satellite Methods for the Study of Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia

Rosenberg Natalia Klimentevna

Senior Research Fellow of the Laboratory of «Satellite Methods for the Study of Geophysical Processes», Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, 123242, Moscow, Russia