



5 ЛЕТ ИННОВАЦИОННОМУ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМУ ЦЕНТРУ НАУК О ЗЕМЛЕ



на базе Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в
городе Севастополе

О.В. Крылов^{1,2}, Н.В. Лубнина², А.Ю. Бычков², И.Н. Модин², М.Л. Владов²,
П.Ю. Пушкарев², Е.В. Козлова³, Н.И. Косевич², И.Л. Прыгунова¹, В.О. Осадчий²,
А.Ю. Паленов², А.Д. Скобелев², И.Ю.Хромова⁴

¹ Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе

² Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

³ Сколковский институт науки и технологий

⁴ ИП «Хромова Инга Юрьевна»

inno.earthscience@gmail.com

<http://2020.inno-earthscience.com/>

Прошло 5 лет с момента образования Инновационного образовательного центра Наук о Земле на базе Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополь.

Этот центр был создан по решению Ученого Совета Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополь (протокол №5–16 от 15.11.2016 г.) для координации и междисциплинарной интеграции образовательной, научно-исследовательской и инновационной деятельности подразделений Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, геологического и географического факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова и научно-исследовательских организаций, направленной на решение актуальных и перспективных геологических, географических, геофизических и экологических задач.

В рамках работы Инновационного образовательного центра Наук о Земле сформировалось **5 основных направлений исследований:**

- Геодинамические аспекты трещиноватости (руководители проф. Н.В. Лубнина и доц. О.В. Крылов);
- Геофизические исследования и геомониторинг опасных процессов (руководители проф. И.Н. Модин и проф. М.Л. Владов);
- Гидротермальные процессы и флюиды в земной коре (руководитель проф. А.Ю. Бычков);

- Грязевой вулканизм как индикатор процессов образования нефти и газа (руководители внс Е.В. Козлова и доц. О.В. Крылов);
- Современные геолого-геоморфологические процессы и динамика приморских ландшафтов (руководители доц. И.Л. Прыгунова и асс. Н.И. Косевич).

Работа Центра строится на двух главных принципах: полевые исследования и лабораторная обработка полученных данных, а также освещение основных достижений на семинарах и конференциях.

КОНФЕРЕНЦИИ И ПОЛЕВЫЕ ШКОЛЫ. В 2020 году Инновационный образовательный центр Наук о Земле совместно с Геологическим факультетом Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова в пятый раз проводит Международную научно-практическую конференцию «Инновации в геологии, геологии и географии-2020», в работе которой принимает участие около 150 человек.

Одной из важных задач научно-практических конференций является разработка основных подходов, предложений, методологии применения комплексных геологогеофизических и геохимических методов исследования, инноваций в геологии, геофизике, географии для рационального природопользования и устойчивого развития прибрежной зоны Крыма и Севастополя. За это время написано и опубликовано более 500 научных статей в материалах конференций на русском и английском языках. С материалами конференций прошлых лет можно ознакомиться на сайте <http://2020.inno-earthscience.com/>.

Обучение студентов, аспирантов и молодых сотрудников является одним из основных направлений работы Инновационного образовательного центра Наук о Земле. Особую роль в этом обучении уделяется получению студентами навыка практической работы в реальных полевых условиях, самостоятельной работе на современных аппаратных комплексах и правильному выполнению полевых работ, отбору образцов пород, детальному документированию с точной геодезической привязкой.

За 5 лет для подготовки региональных кадров, а также повышения уровня обучения профильных студентов в ведущих ВУЗах России, проведено 6 полевых школ, во время которых участники знакомились как с новыми методиками изучения заявленных процессов, так и с реальными геологическими объектами. Среди этих объектов были складчато-блоковые структуры Гераклеийского плато, Внутренней и Внешних гряд Крымских гор, области развития грязевого вулканизма в пределах Керченского и Таманского полуостровов, подводные хребты и толщи современных осадков прибрежных районов Крыма.

К нашему большому сожалению, запланированные на 2020 год полевые школы не удалось провести из-за охватившей весь мир пандемии коронавируса «Covid-19». В 2020 году мы планировали провести 2 полевые школы на территории Крыма и Тамани: «Коллекторы нефти и газа: условия формирования, строение и выражение в геофизических полях» и «Нетрадиционные источники углеводородов: междисциплинарные исследования». Надеемся, что эпидемиологическая обстановка в России позволит нам провести намеченные школы летом 2021 года.

КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ. Сотрудниками Инновационного образовательного центра Наук о Земле разработаны Программы дополнительного профессионального образования по комплексированию геолого-геофизических исследований с выдачей диплома о профессиональной переподготовке и присвоением дополнительной квалификации, о переквалификации кадров, о повышении квалификации с выдачей сертификата.

Среди этих программ можно отметить:

- **Курс «Опасные геологические процессы».** В рамках этого курса слушатели получают теоретические знания и практические навыки, необходимые для определения причин и механизмов формирования опасных геологических процессов (оползни, обвалы, карст, сели, переработка берегов моря, озер, рек, подтопление
- **Курс «Геотектоника и геодинамика»** позволяет получить современные представления о структуре, движениях, деформациях и развитии верхних твердых оболочек Земли в связи со строением и развитием Земли в целом, и возможных подвижек в приповерхностных условиях.
- **Курс «Дистанционные методы исследований»** знакомит с основными методами изучения структур Земли различного ранга, а также изучение новейших и современных опасных геологических процессов на основании геологического дешифрирования различного рода материалов, полученных из космоса, с помощью аэросъемок и наземных фотографий, направленных на проведение инженерно-геологических изысканий, охраны и рационального использования окружающей среды
- **Курс «Геофизические методы исследования»** направлен на освоение основных инструментальных методов изучения Земли – сейсморазведки, электроразведки (в том числе многоэлектродные зондирования – электротомографии), магниторазведки, гравиразведки.
- **Курс «Георадиолокация и сейсморазведка при инженерных изысканиях для строительства и мониторинга транспортных магистралей».** В процессе освоения данного курса слушатели получают представление о физических основах метода георадиолокации и его возможностях, осваивают методику обработки георадиолокационных данных, знакомятся с программным обеспечением, прилагаемым к Георадарам серий «Око» и «Зонд» и учатся обрабатывать с их помощью георадарограммы. Знают методику интерпретации георадиолокационных материалов и умеют применять ее на практике. Имеют представление о возможностях георадиолокации в различных областях. Получают практические навыки интерпретации георадарограмм в процессе выполнения примеров из Атласа учебных задач.
- **Курс "Инженерная сейсморазведка".** В результате освоения дисциплины слушатели получают представление о физических основах метода сейсморазведки и его возможностях. Умеют правильно планировать и проводить полевые работы. Знают методику обработки сейсморазведочных данных. Имеют представление о

программном обеспечении на примере системы RadExPro. Умеют обрабатывать с ее помощью полевые материалы разными способами. Знают методику интерпретации сейсморазведочных материалов и умеют применять ее на практике. Имеют представление о возможностях инженерной сейсмики в различных областях инженерной геологии и геотехники. Получают практические навыки интерпретации.

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ по основным направлениям Инновационного Центра Наук о Земле проводятся при финансовой поддержке грантов РФФИ проекты №№18-05-00818 (Физико-химическая модель грязевого вулканизма Керченско-Таманского региона, руководитель А.Ю. Бычков) и 18-45-920073 (Геодинамические аспекты трещиноватости береговой зоны Севастопольского района юго-западного Крыма: комплексные исследования, мониторинг и техногенные риск, руководитель О.В. Крылов).

Основные результаты исследований:

I. ТЕМАТИЧЕСКАЯ БАЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ.

В период 2016–2020 гг проводилась разработка структуры тематической базы пространственных данных (БПД) на решение геологических, тектонических, геофизических и геоморфологических задач в исследовании юго-западной части Крымского полуострова. Данная БПД позволит расширить набор инструментов пространственного и тематического анализа и выявить основные геодинамические закономерности трещиноватости береговой зоны.

По своей структуре разработанная база данных состоит из трех блоков (рис. 1). Первый, **инвентаризационный блок**, представляет всю собранную информацию на исследуемый регион.

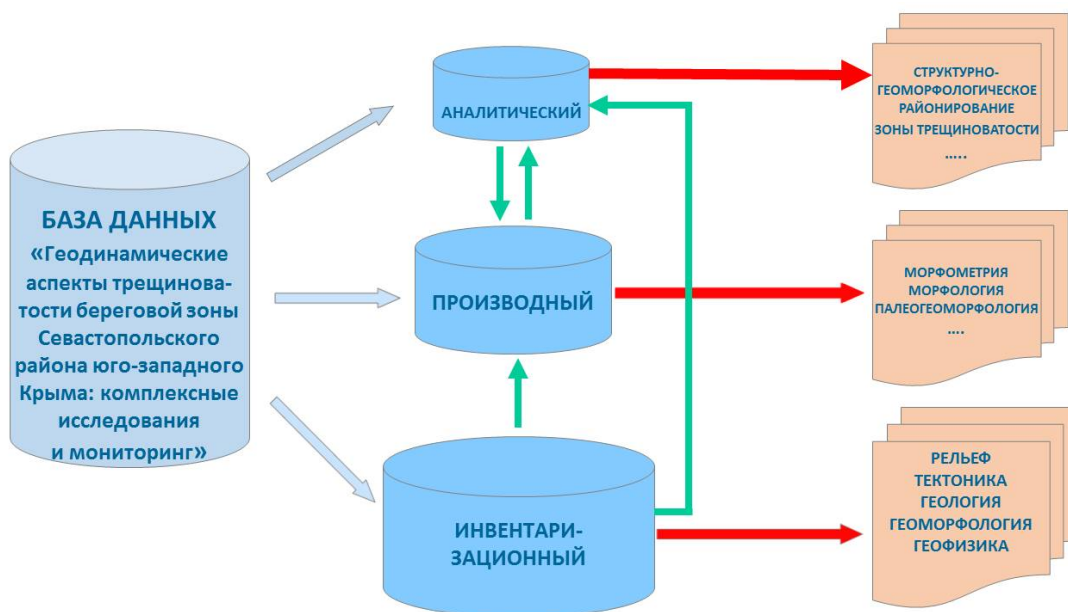


Рис. 1. Структура базы пространственных данных региона исследования

К настоящему моменту в инвентаризационном блоке БПД присутствуют разделы «Рельеф», «Геология», «Тектоника», «Геоморфология», «Неотектоника», «Геофизика» (рис. 2–4). Здесь отражена информация, базирующаяся на архивных и фондовых материалах, а также на материалах дистанционного зондирования и проведенных в 2016–2019 гг. полевых исследованиях.

Все представленные материалы характеризуются высокой степенью качества исходных данных, как комбинаторного показателя информации.

Раздел «РЕЛЬЕФ»

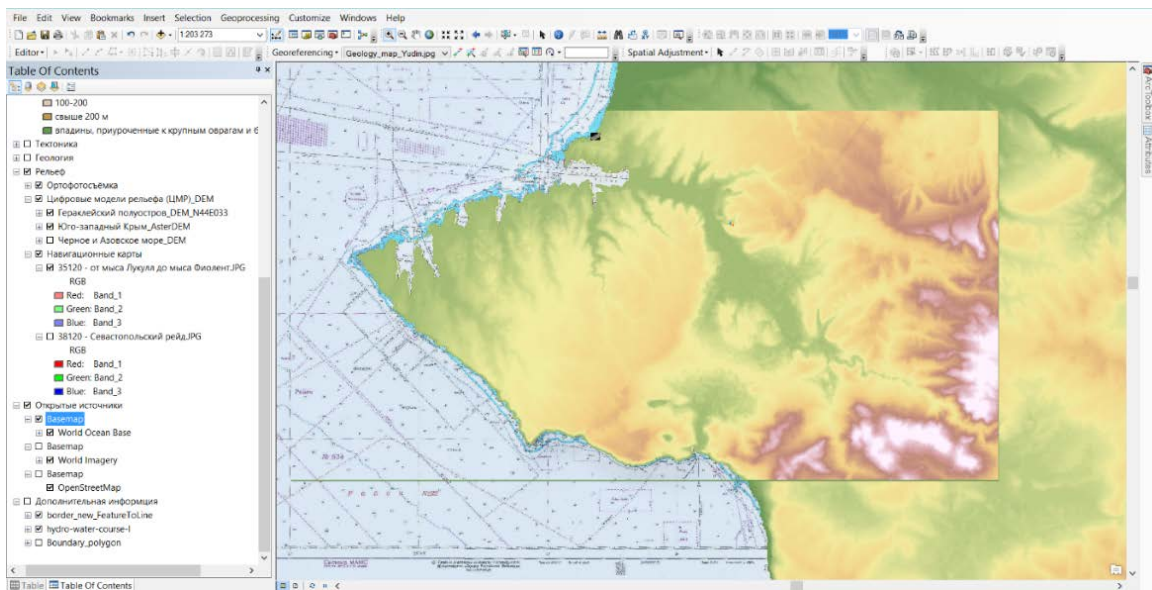


Рис. 2. Пример представления раздела «Рельеф»

Раздел «ГЕОЛОГИЯ»

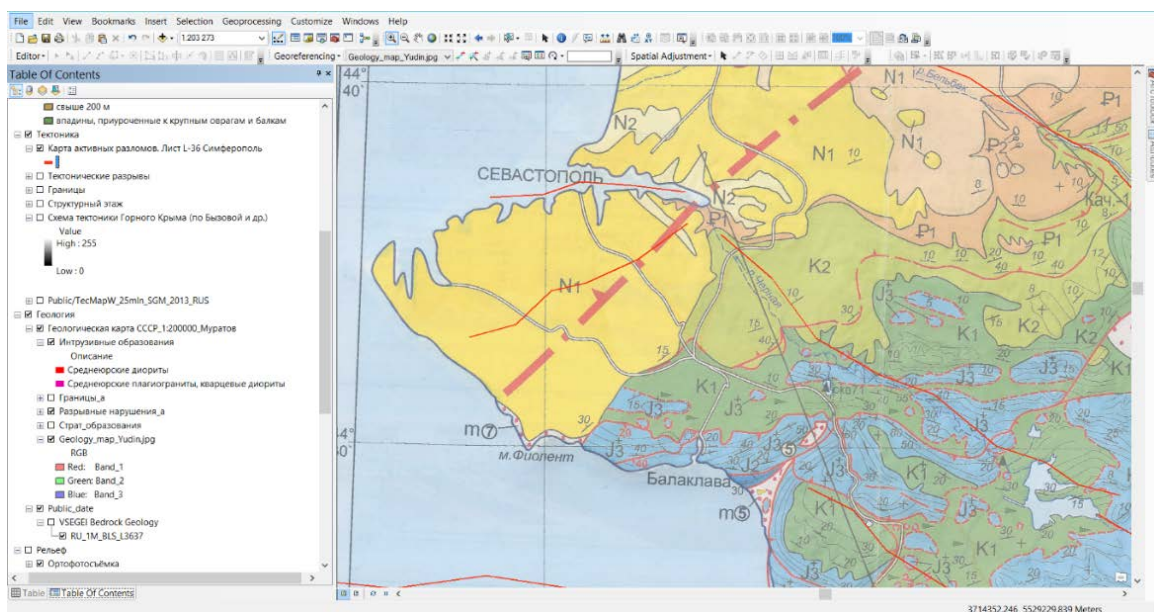


Рис. 3. Пример представления раздела «Геология»

Раздел «ГЕОФИЗИКА»



Рис. 4. Пример представления раздела «Геофизика»

Определены и уже частично апробированы главные разделы, которые включают:

- а) географические координаты точек отбора образцов для определения анизотропии магнитной восприимчивости пород, географические координаты отбора проб для геохимических исследований, географические координаты точек проведения замеров параметров трещиноватости, географические координаты начала и конца геофизических (сейсмических, магнитных, гравитационных и элетротомографических съемок) как морских, так и наземных профилей; мест новейшего проявления оползневых процессов (мыс Толстяк и садоводческое товарищество "Парус", аэропорт "Бельбек");
- б) координаты привязки фотографических материалов: мест проведения структурно-геоморфологических замеров, пунктов определения анизотропии магнитной восприимчивости, проведения полевых геофизических съемок, точек геологического описания параметров тектонических разломов и зон трещиноватости, проявления оползней и карста;
- в) набор карт и разрезов: сейсмические профили (метод НСП), магнитные профили, гравитационные профили, электротомографические профили, структурно-геоморфологические, структурно-тектонические, схемы распределения магнитных аномалий, общая схема выполненных геолого-геофизических работ;
- г) описательная часть включает оценку основных геодинамических закономерностей трещиноватости, корреляцию данных геофизических и геологических данных, линеаментного анализа, направленности деформаций и полей напряжений, которые обуславливают формирование опасных зон (оползни);
- д) созданы результирующие схемы, направленные на оценку рисков строительства социально значимых объектов.

Второй блок — **производный** — представляет формализованные пространственные данные и картографические материалы, которые являются результатом анализа и геоинформационной обработки инвентаризационного блока.

В производном блоке БПД отражена информация, являющаяся результатом обработки данных инвентаризационного блока – разделы «Морфология», «Морфометрия», «Палеогеоморфология», «Геофизические данные» и др. Раздел «Морфометрия» включает материалы, полученные в результате морфометрического ГИС-анализа данных раздела «Рельеф»: крутизна склонов, экспозиция склонов, глубина расчленения, густота расчленения, общее расчленение и ряд других морфометрических показателей (Рис. 5 и 6).

Раздел «Морфология» является результатом обработки полевых материалов и данных раздела «Рельеф».

Комплексный анализ материалов разделов «Рельеф», «Геология» и «Геоморфология» инвентаризационного блока БПД позволил получить данные для раздела «Палеогеоморфология». В разделе «Геофизические данные» представлены данными непрерывного сейсмического профилирования (НСП), интерпретация комплексных магнитометрических, гравиметрических и электротомографических исследований Гераклейского плато и др.

Раздел «МОРФОМЕТРИЯ»

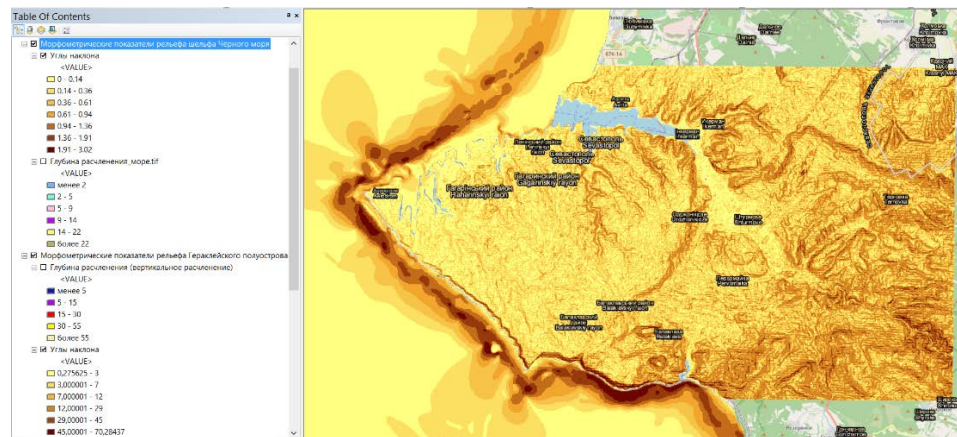


Рис. 5. Пример представления раздела «Морфометрия»

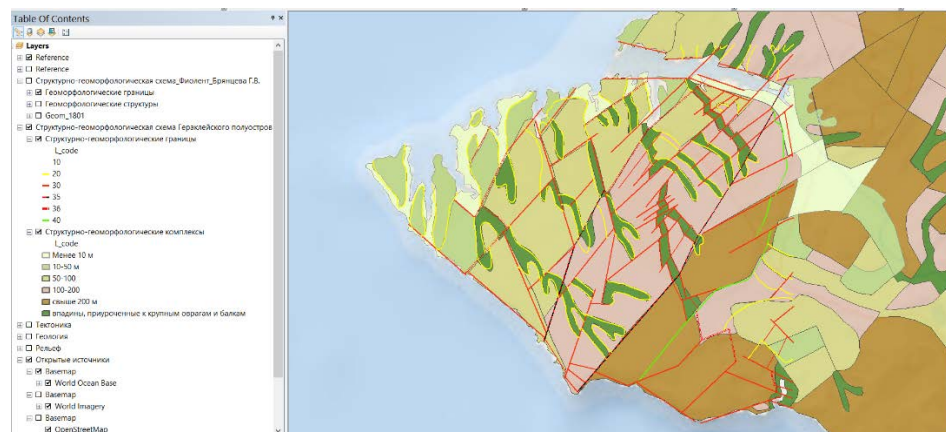


Рис. 6. Пример представления раздела «Морфометрия»

Третий блок, **аналитический**, является непосредственно результатом исследования и представляет собой совокупность пространственных и картографических материалов, полученных на основе комплексного тематического анализа инвентаризационного и производного блоков БПД. В этом блоке БПД содержатся материалы, полученные в ходе

пространственно-тематического анализа данных Инвентаризационного и Производного блоков: раздел «Структурно-геоморфологическое районирование» (Рис. 7), разделы «Морфометрические комплексы рельефа», «Интерпретация AMS данных» и др.

Раздел «СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ»

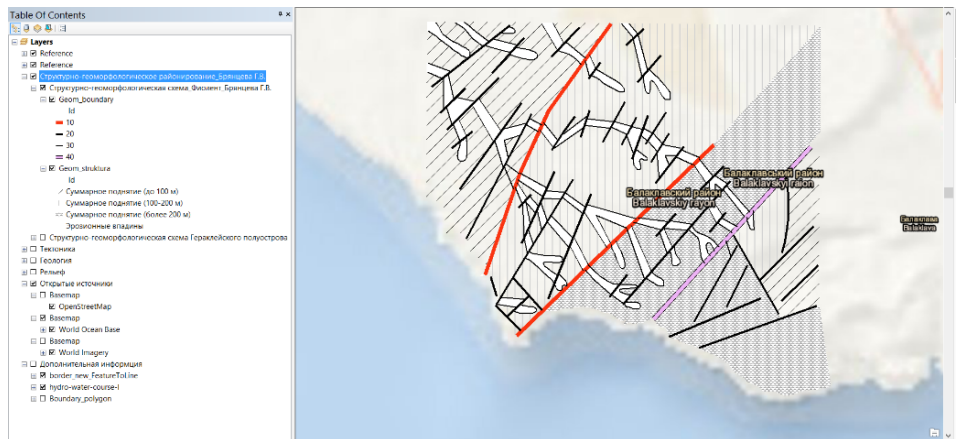


Рис. 7. Пример представления раздела «Структурно-геоморфологическое районирование» (карта составлена Г.В. Брянцевой)

II. КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 2018–2019 гг.

В 2018–2019 гг на мысе Фиолент проведены комплексные геофизические исследования (рис. 8), включавшие наблюдения методом электротомографии на профиле 715 м, по его результатам на восточной части профиля выполнен 400-метровый профиль высокоточной гравиразведки, а также магнитометрические наблюдения на трех параллельных профилях (центральный из которых совпадал с электротомографическим), также был выполнен профиль вдоль обрыва (рис. 9).



Рис. 8. Схема расположения геофизических работ на мысе Фиолент

Производство магнитометрических измерений осложнялось высоким уровнем техногенных помех на изучаемой площади, из-за чего измеренные данные на значительных участки профилей пришлось удалить, как не содержащие геологической информации.

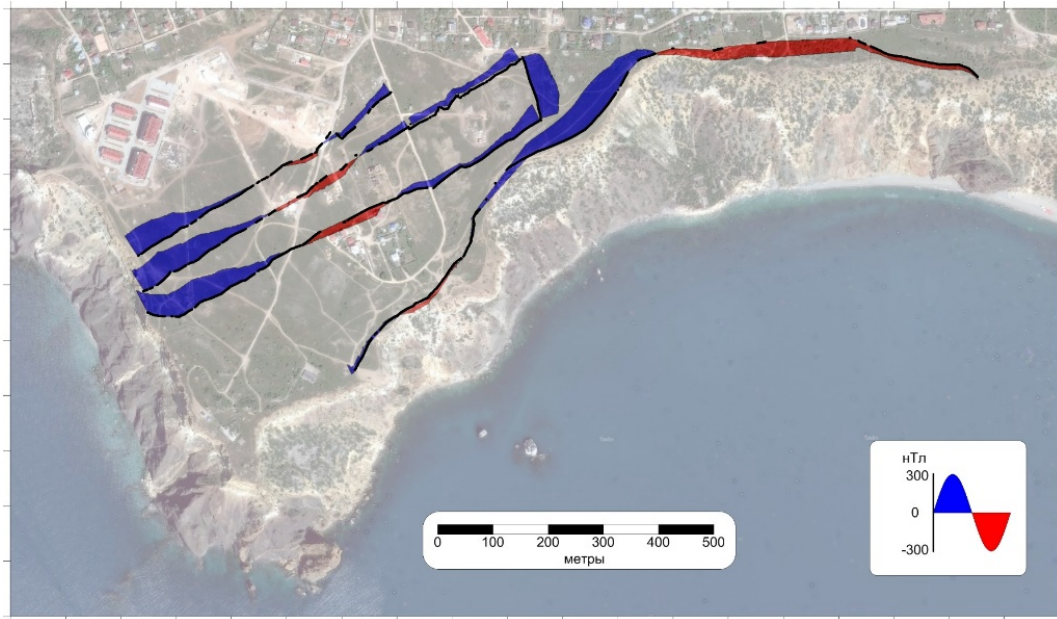


Рис. 9. Карта графиков аномального магнитного поля, мыс Фиолент

На карте графиков аномального магнитного поля выявляются две положительные зоны на самом западе мыса и в восточной части изучаемого участка, положительные зоны разделяются понижением магнитного поля имеющим отчетливо выраженное северо-западное простирание (320°СЗ), рис. 10.

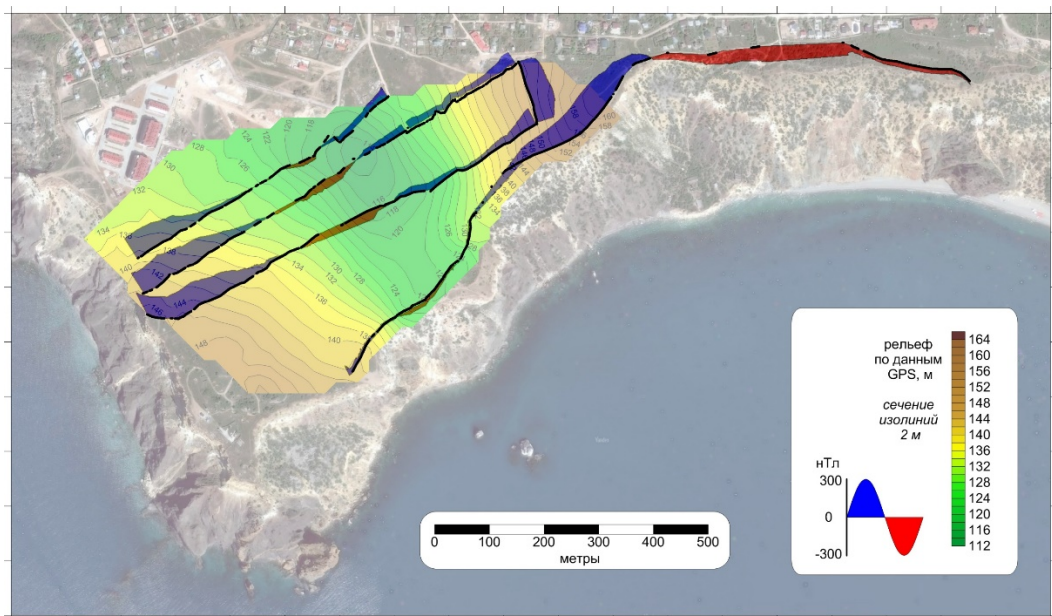


Рис. 10. Карта графиков аномального магнитного поля и рельеф по GPS

Несмотря на общую корреляцию аномального магнитного поля и рельефа дневной поверхности по данным GPS можно заметить, что минимум в рельефе смещен относительно минимума магнитного поля.

Проведенные в 2018–2019 гг электротомографические исследования на м. Фиолент позволили составить сводный разрез (рис. 11).

Юго-западная часть профиля от пк 0 до пк 290 (участок профиля I) в целом сложена высокоомными породами, которые имеют удельное сопротивление от 250 до 500 Ом·м. Это плотные ненарушенные известняки, кровля которых расположена на глубине около 10 м. Сверху они перекрыты неоднородными вероятно карбонатными отложениями, которые имеют разную степень выветривания. Самый верхний слой современных отложений крайне невыдержан по горизонтали, имеет мощность не более 1.0–1.5 м и сопротивление от 100 до 150 Ом·м. Под ним фрагментарно в виде линз мощностью 1.5–2 м с горизонтальными размерами от 3 до 40 м. Верхняя кромка расположена на глубине от 0.5 м до 2 м. На наш взгляд, это сохранившиеся блоки известняков, которые устояли против выветривания. Общая протяженность линз высокого сопротивления около 100 м, что составляет около 40% покрытия этого участка профиля. В зависимости от степени выветрелости линзы останцов сохранившихся известняков имеют разное сопротивление от 100 до 400 Ом·м, что указывает на значительный разброс параметров трещиноватости и глинистости этих блоков.

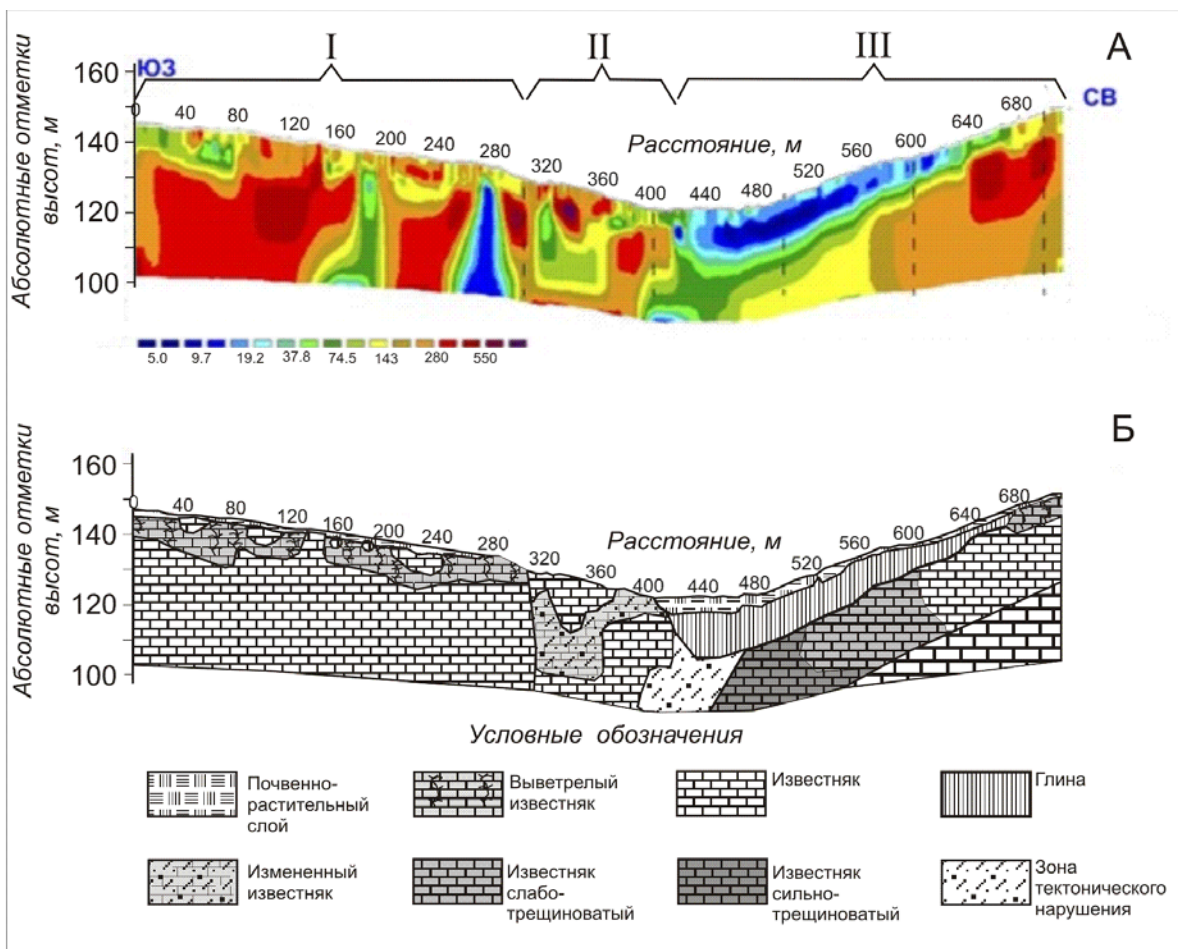


Рис. 11. Геоэлектрический разрез по результатам инверсии электротомографии на профиле м. Фиолент.

Под линзами сохранившихся известняков расположен слой сильновыветрелых известняков, сопротивление которых понижается от 50 до 250 Ом·м. Слой выветривания крайне неоднороден по мощности и свойствам. Мощность этого слоя меняется от 0 до 7–8 м.

Центральная часть профиля от пк 290 до пк 400 (участок профиля II) имеет неоднородно-ячеистое строение, и представлено блоками различного состава и размеров. Практически здесь в разрезе отсутствует какая-либо стратификация. Горизонтальные размеры блоков меняются от 20 до 60 м, а их мощность варьирует от 10 до 15–20 м. Произвольно расположенные ячейки образуют структуру напоминающую замкнутый каркас, внутри которого расположены более проводящие породы, а стенки каркаса образованы высокоомными блоками. Две вертикальные аномалии, расположенные на пк 180 и 280, вероятно, сформировались от искусственных инженерных коммуникаций типа трубопровод.

Северо-восточная часть профиля от пк 420 до пк 700 (участок профиля III) занимает всю северо-восточную часть Фиолентовской балки. До глубины 40 м в этой части профиля геоэлектрический разрез четырехслойный. Сверху залегает почвенно – растительный и техногенный слой современных отложений мощностью около 3 м. Под ним расположен слой аномально низкого сопротивления, мощность и, вероятно, проводимость которого возрастает к центру структуры. Мощность проводника составляет в районе пк 460 порядка 6–7 м, а удельное сопротивление уменьшается до 5–10 Ом·м. К пк 640 его мощность уменьшается до 3–5 м, а сопротивление возрастает до 40–70 Ом·м. Таким образом, продольная проводимость слоя меняется от 1.0 Сименса в районе пк 460 до 0.07 Сименсов на северо-восточной оконечности электротомографического профиля. Слой низкого сопротивления падает под углом 6.5 градусов в юго-западном направлении. Под проводником залегает мощная толща миоценовых известняков, сопротивление которых постепенно возрастает в северо-восточном направлении. Если в центре структуры сопротивление известняков составляет 100–150 Ом·м, что соответствует нарушенным, сильнотрещиноватым известнякам, которые, вероятно, с поверхности имеют значительную по мощности зону выветривания (судя по результатам электрических зондирований не менее 10–15 м). В конце профиля в районе пк 700 сопротивление известняков возрастает до 300–500 Ом·м, что указывает на незначительную пористость, низкую минерализацию и, вероятно, высокие прочностные свойства. Третий слой залегает согласно со вторым слоем и имеет мощность около 25 м. Внизу выделяется четвертый слой пониженного сопротивления. Его подошва не проявлена на разрезе из-за ограниченной глубинности метода на применяемых разносах. Сопротивление четвертого слоя можно оценить в интервале от 75 в районе пк 450 до 250 Ом·м на пк 650–700.

Кроме этого обращает на себя внимание аномалия в интервале пк 400 – 440, которая, по нашему мнению, образована малоамплитудным тектоническим нарушением, которое определяет структуру как геоэлектрического разреза так и гравитационного и магнитометрического поля.

Сопоставляя результаты магниторазведки и электротомографии (рис. 11 и 12) можно отметить, что минимум магнитного поля приходится на сильно неоднородную по сопротивлениям зону, располагающуюся в центре профиля.

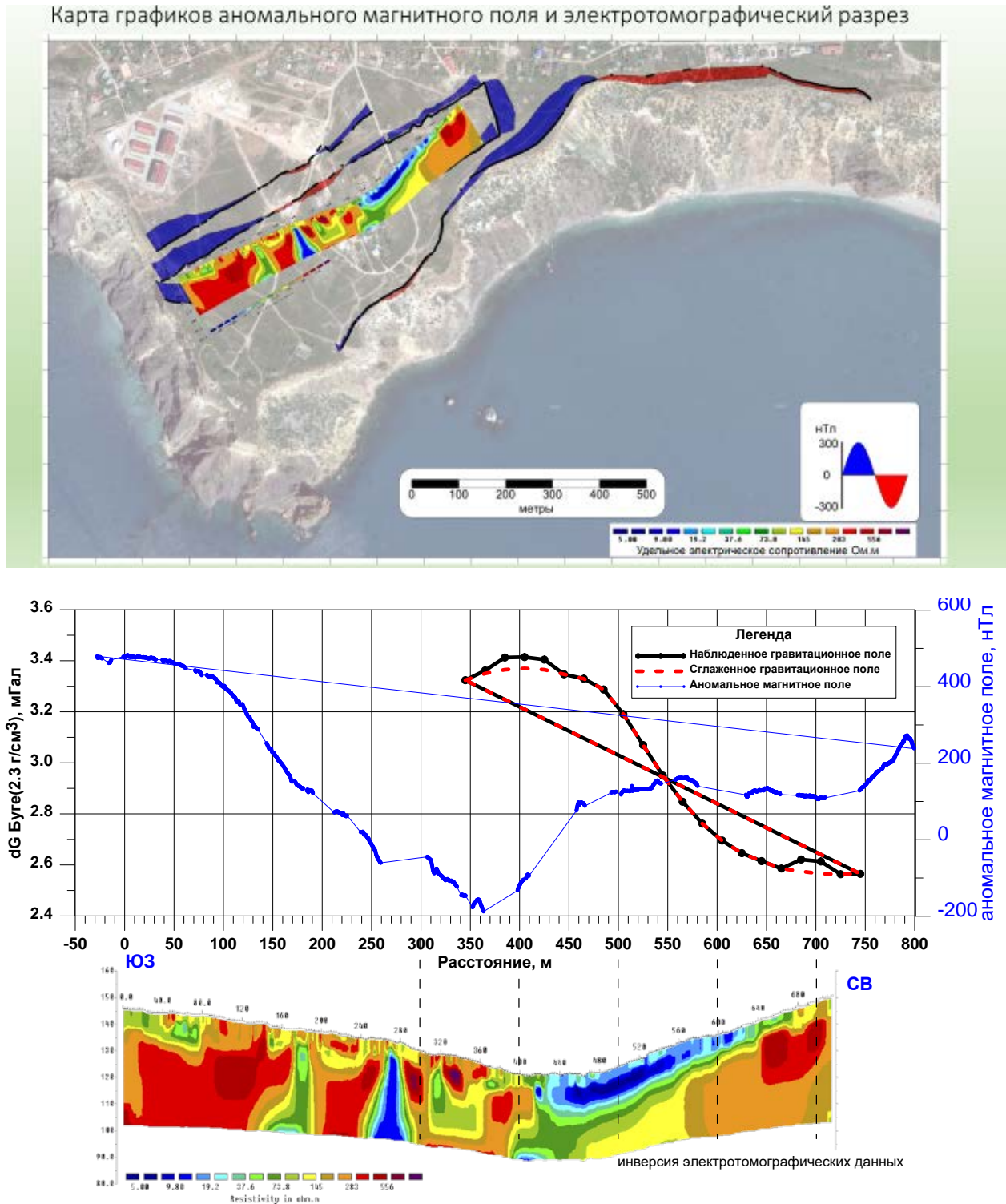


Рис. 12. Сопоставление результатов геофизических исследований на мысе Фиолент

Длина профиля по гравиразведочным работам составила 400 м, шаг по профилю 10 м. Точность гравиметрической съемки ± 0.002 мГал. Точность определения высот ± 1 см. Построен график гравитационного поля в редукции Буге (плотность промежуточного слоя 2.3 г/см³). Двигаясь по профилю с ЮЗ на СВ, наблюдается понижение значений гравитационного поля. Центральную часть профиля характеризует высоким градиентом – 0.05 мГал на 10 м. На краях профиля намечается смена величины и знака градиента. В

районе пикетов 400 и 700 можно выделить положительные локальные аномалии одинаковой амплитуды 0.05 мГал. По данным электротомографии в районе этих же пикетов можно выделить границы области с пониженным сопротивлением.

Б) В 2018–2019 гг были продолжены КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ на базовом полигоне (балка Бермана, рис. 13), включавшие в себя:

- 1) Электротомография (ЭТ);
- 2) Сейсморазведка МПВ (силами НПЦ Геоскан) на Р- и S-волнах;
- 3) Сейсморазведка ОГТ по двум профилям, 244 и 100 п.м.

Электроразведочные работы методом сопротивлений в модификации электротомографии по сети из 6 профилей, общей протяженностью 1770 п.м. При производстве работ использовалась десятиканальная электроразведочная станция Омега-48 (ООО «Логис», г.Раменское). Целью работ послужила необходимость прослеживания положения Георгиевского разлома на СВ от мыса Фиолент. Глубинность электроразведочных исследований составила около 60 м. Съемка производилась инверсной установкой Шлюмберже (mAVn), диполь-дипольной установкой (AVmn) также комбинированной трехэлектродной установка Amn+mnV. Двумерная инверсия полученных электроразведочных данных была выполнена в программе Res2DInv (Geotomo, Малайзия). На 4х профилях 2018 года выделяются низкоомные проводящие зоны, шириной от 50 до 80 м, соответствующие, предположительно, разломной зоне. На двух профилях 2019 г. разломные зоны на геоэлектрических разрезах также выделяются как области пониженных значений удельных электрических сопротивлений шириной до 30–40м.

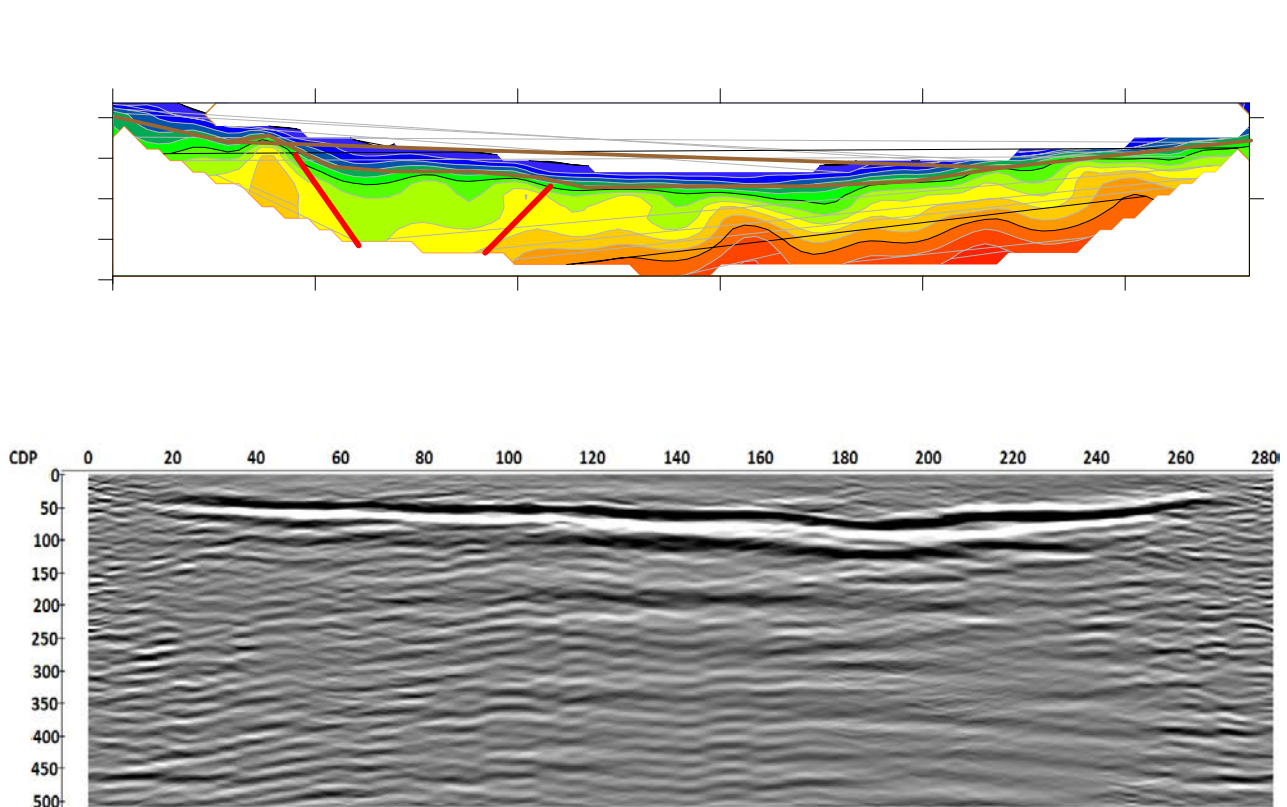


Рис. 13. Интерполяция тектонического нарушения, на карте фактического материала, между профилями Сейсм_пр1_2019 и Геоскан_сейсм.

Для картирования разломной зоны в Балке Бермана были проведены работы методом сейсморазведки по 3 профилям общей протяженностью 620 п.м. (на продольных волнах) и 287 п.м. (на поперечных волнах). Обработка полученных данных велась по методикам МПВ, МОВ-ОГТ, а также сейсмотомографии. Полученные глубинные разрезы в изолиниях скоростей распространения продольных и поперечных скоростей и временные разрезы ОГТ показали наличие разрывных нарушений, положение которых пространственно совпадает с выделенными по электроразведочным данным аномалиям электропроводности.

Получена первичная интерпретация первичных полевых геофизических материалов (рис. 14).

В настоящее время проводится комплексирование данных сейсморазведки, электротомографии и структурно-геоморфологических и кинематических исследований на м. Фиолент и Балке Бермана.



Сравнение глубинного разреза в изолиниях скорости полученного с помощью обработки методом сейсмотомографии и временного разреза ОГТ профиля Геоскан_сейсм на продольных волнах.

В 2019 году продолжена совместная интерпретации результатов сейсмотомографии и электротомографии. Первичный анализ показывает значительную разнородность волновой картины.

В то же время, при анализе более глубоких зон, намечается сходные параметры для возможного выделения тектонических нарушений (рис. 15).

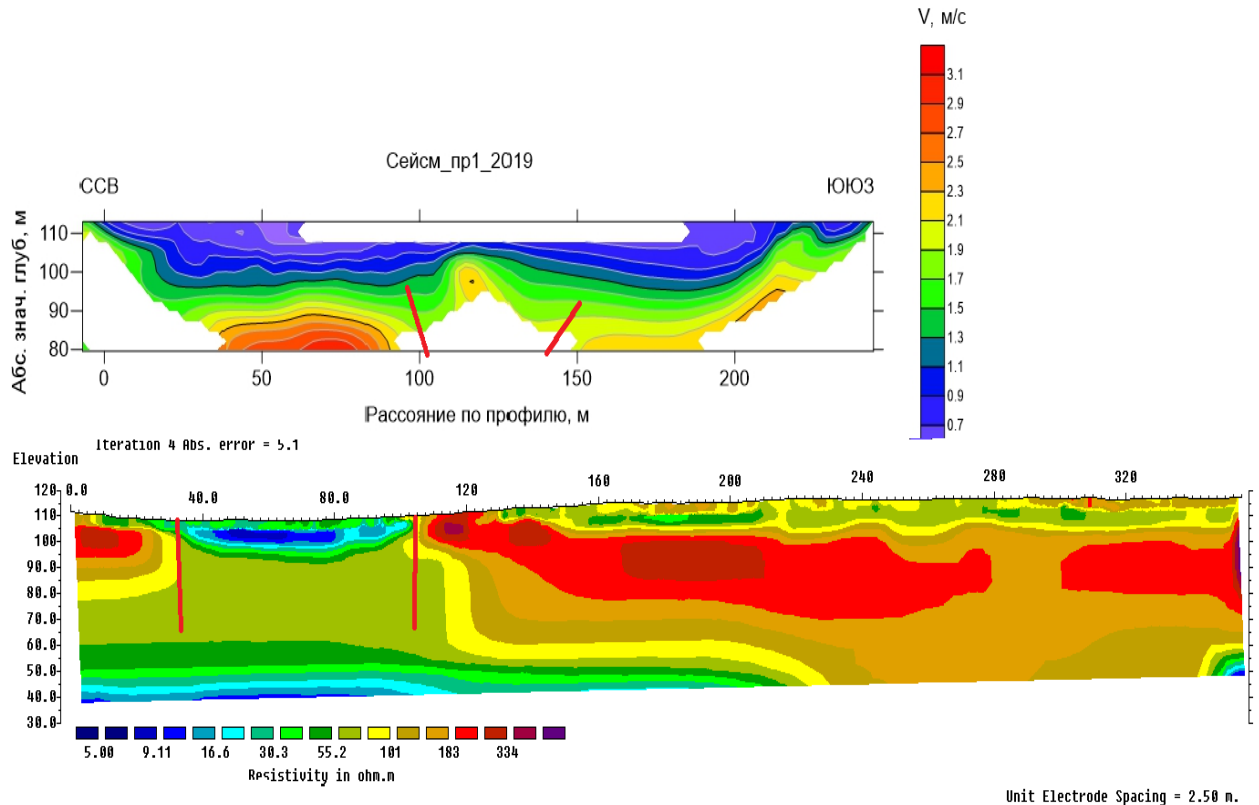


Рис. 15. Совместный анализ сейсмотомографии и данных элетротомографии.

Таким образом, в результате комплексных исследований установлены Главные геолого-геофизические критерии выделения опасных участков трещиноватости:

(1). Крайне неоднородное строение верхней части геоэлектрического разреза до глубин 30–40 м по данным электроразведки. При этом по данным бурения в первом приближении среда квази горизонтально-слоистая. При детальном изучении после проведения комплексных геолого-геофизических исследований, оказывается, что среда имеет блочное строение;

(2) Сейсмические данные свидетельствуют о том, что в зонах повышенной трещиноватости миоценовые известняки имеют крайне низкие прочностные свойства (предел прочности на одноосное сжатие составляет не более 10–15 МПа);

(3) По электроразведочным данным обводненность (влажность) верхней части разреза резко меняется по горизонтали.

(4) На закарстованных территориях на определенных глубинах наблюдается резкая изменчивость удельного сопротивления от максимально больших значений до минимальных;

(5) Довольно активно трещиноватость развивается под действием оползневых процессов. Особенно опасные трещины растяжения, которые возникают на участках положительного рельефа пород основания, по которым происходит скольжение оползневых тел, представленных известняками.

Электроразведочные работы в Балке Бермана.

В) НЕПРЕРЫВНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ

Исследования методом непрерывного сейсмического профилирования (НСП) проводились у мыса Фиолент с борта судна (рис. 16).

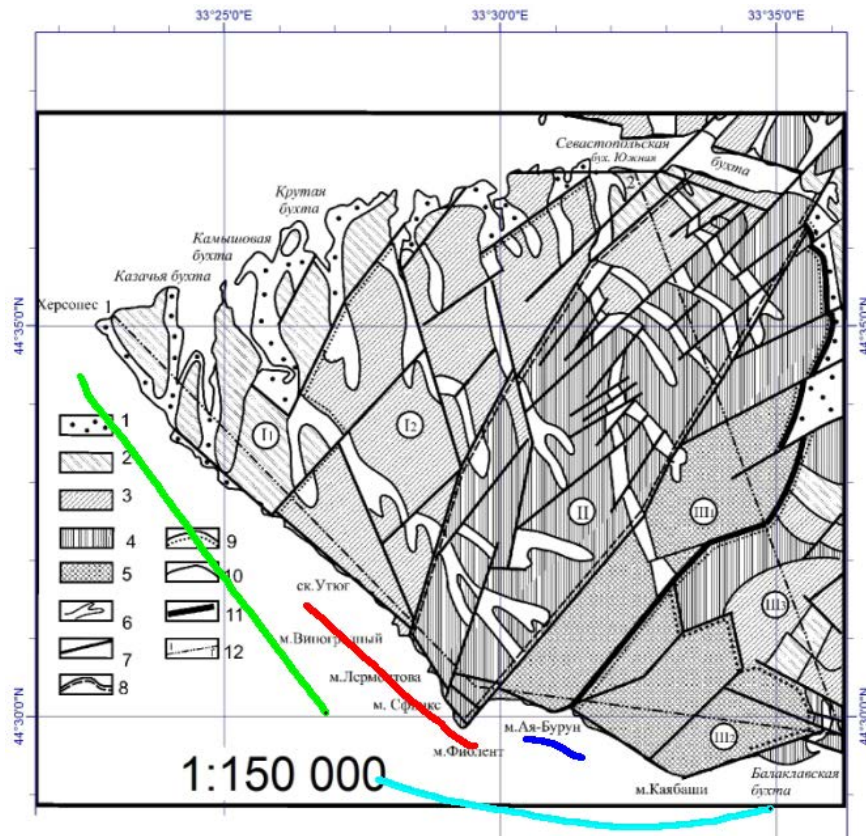


Рис. 16. Профили НСП в районе м. Фиолент

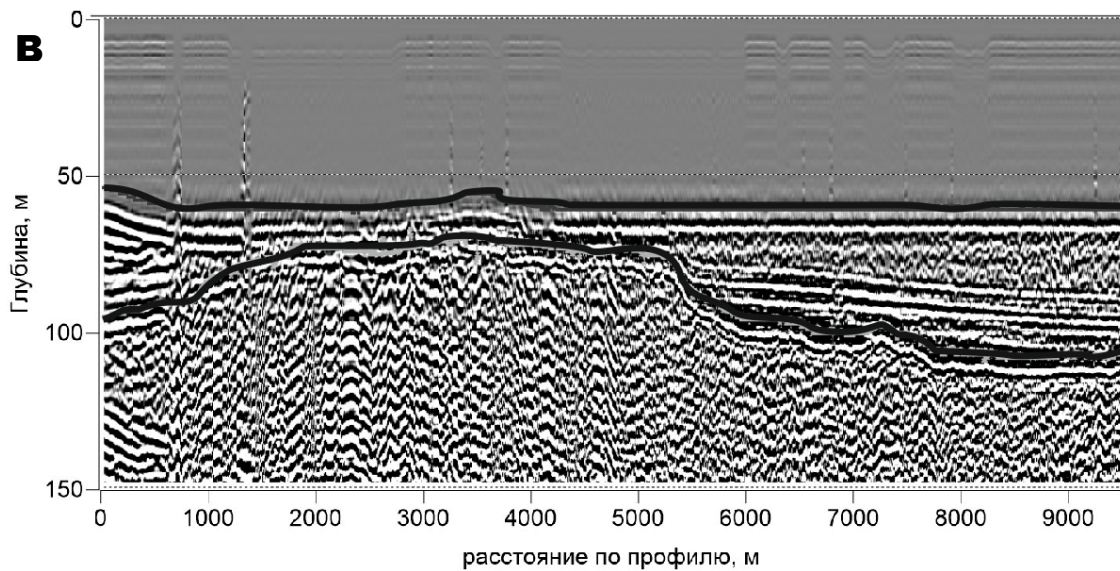
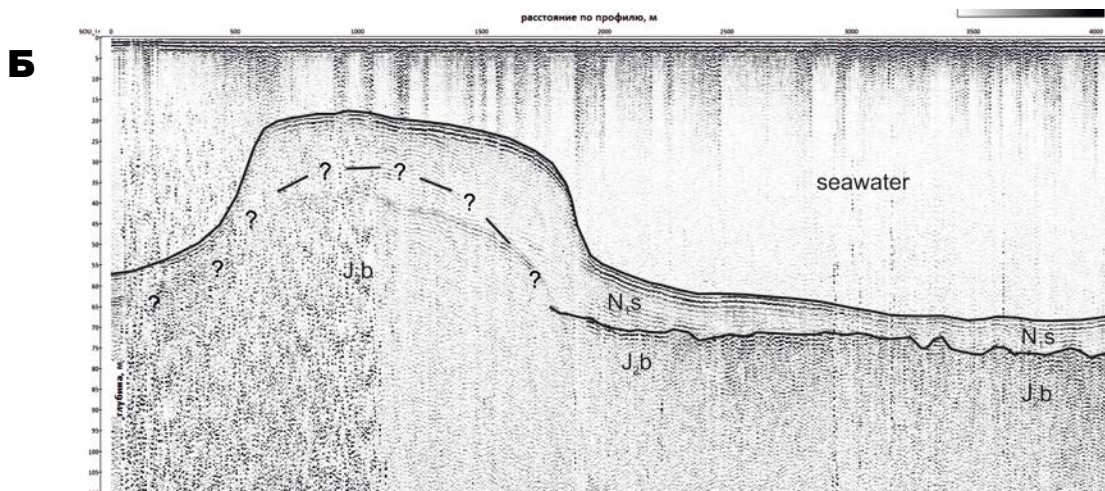
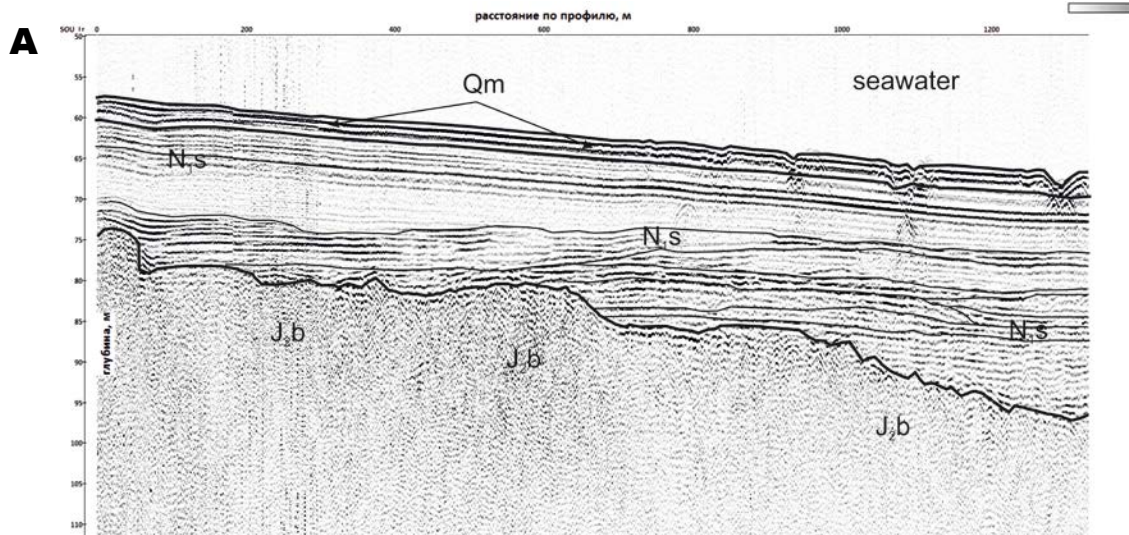
Для этого использовались электроискровой источник упругих волн и приемная пьезокося, которые буксировались за судном.

После каждого «выстрела» (электроискрового разряда в воде) генерируемая упругая волна отражается от геологических границ в слоях осадка и принимается приемником, затем регистрируется компьютером. Наиболее различимыми границами являются граница между водой и осадками, затем между мягкими отложениями (песок или глина) и твердыми породами (коренными породами). Цифровые записи отклика среды – последовательности волн, отраженных от границ раздела слоев, обладающих различной акустической жесткостью формируют сейсмограмму, набор которых формирует сейсмический временной разрез, подлежащую цифровой обработке, пересчету в глубинный разрез и геологической интерпретации.

Применение электроискровых источников с разной энергией излучения позволяет получать сейсмические разрезы с разной степенью подробности (различным частотным составом) по вертикали и горизонтали. Это можно видеть на рис. 17 (А, Б, В, Г).

На рис. 16 приведена карта фактического материала. Синей и красной линиями показаны профили, выполненные в 2016 году методикой с высокочастотным (и, соответственно, высокоразрешающим) источником. Сейсмические разрезы для приведенных профилей приведены на рис. 17 (А, Б, В, Г).

Голубой и зелёной линиями показаны профили, выполненные в 2018 году методикой с низкочастотным (и, соответственно, более глубинным) источником (рис. 16). Сейсмические разрезы для приведенных профилей приведены на рис. 17 (А, Б, В, Г).



(продолжение)

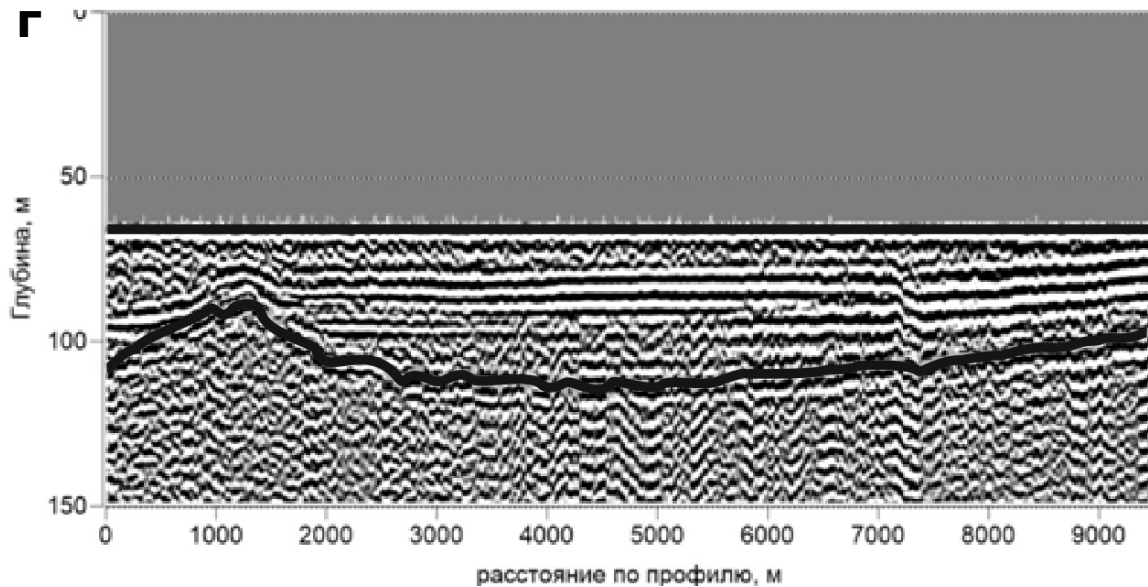


Рис. 17. Результаты непрерывного сейсмического профилирования (НСП) у мыса Фиолент.

А) Профиль 5-1 (2016). Длина профиля 1300 м. Б) Профиль 5-2 (2016). Длина профиля 4000 м. В) Профиль 1 (2018). Первая (сверху) жирная чёрная линия – морское дно. Вторая – кровля вулканитов юрского возраста. Г) Профиль 2 (2018). Первая (сверху) жирная чёрная линия – морское дно. Вторая – кровля вулканитов юрского возраста.

На рис. 17 (А) приведен разрез по профилю 5-1 (2016). Разрез представлен сверху вниз: четвертичными отложениями, известняками возраста N_{1s} и вулканогенными отложениями возраста J_{2b} . Рельеф морского дна и кровля юрских вулканитов позволяют судить количественно об увеличении глубин этих границ от поверхности воды по простиранию основных тектонических нарушений на мысе Фиолент.

На разрезе по профилю 5–2 (2016 год) (рис. 17, Б) прослеживается кровля вулканогенных отложений J_{2b} , а в рельефе морского дна наблюдается выступ, отчётливо коррелирующий с сетью разрывных нарушений северо-восточного простирания близ мыса Фиолент, что можно видеть на рис. 16.

На приведенном на рис. 17 (В, Г) разрезах, полученных в 2018 году, были выделены две основные границы – кровля вулканитов возраста J_{2b} и рельеф морского дна. Характер изменчивости кровли вулканитов можно трактовать, как продолжение разрывных нарушений северо-восточного простирания, прослеживаемых на суше, но для уверенности нужны дополнительные исследования.

Разрез вдоль линии профиля 2 (2018 г.) представлен на рис. 17, Г. На разрезе выделяются идеально ровное морское дно и кровля вулканитов J_{2b} .

Таким образом, на результатах сейсмоакустических наблюдений вблизи мыса Фиолент отчётливо проявляется поднятие, представляющее собой выраженное в рельефе кровли вулканитов продолжение системы разрывных нарушений северо-восточного

простираются. Результаты сейсмоакустических наблюдений хорошо согласуются с результатами гидромагнитной съемки и наземных геофизических методов с учетом разницы в уровнях поверхностей наблюдений – уровня воды и уровня земной поверхности на мысе Фиолент.

ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ. 2020 год внес изменения и в программу полевых исследований. Но все же, намеченные ранее работы по исследованию природного феномена грязевого вулканизма, были выполнены. В сентябре 2020 года полевой отряд (А.Ю. Бычков, Н.В. Лубнина, О.В. Крылов и Е.В. Козлова) провел изучение новых грязевых вулканов и старых нефтяных месторождений в пределах Керченского полуострова в 2020 году.



Полевые работы 2020 года. Керченский полуостров. Фото Е.В. Козловой

За время работ было изучено 6 грязевых вулканов и один нефтяной выход в районе старого, неразрабатываемого в настоящее время, месторождения. Отобраны пробы подземных вод и углеводородных флюидов грязевых вулканов, образцы грязевулканической брекчии и почв. Планируется изучить химический состав вод, углеводородный состав продуктов извержения, литологическую характеристику грязевулканической брекчии.

Работы проводились при финансовой поддержке РФФИ, проекты №18-05-00818 (руководитель А.Ю. Бычков) и №18-45-920073 (руководитель О.В. Крылов).

Более подробно с основными направлениями исследований Инновационного образовательного центра Наук о Земле на базе Филиала МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополь можно ознакомиться на официальном сайте:

<http://2020.inno-earthscience.com/>.