

Л.В. Цибизов^{1,2}, А.И. Кривошапки^{1,3}, П.С. Осипова^{1,2},
В.В. Оленченко^{1,2}, А.В. Григорьевская¹, Б. Виола⁴,
Т. Чаргынов⁵, К.А. Колобова^{3,6}, С.В. Шнайдер^{3,6}

¹Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия;

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия;

³Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск Россия;

⁴Университет Торонто, Канада;

⁵Кыргызский национальный университет, Бишкек, Кыргызстан;

⁶Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

АПРОБАЦИЯ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ПЕЩЕРЕ СЕЛЬУНГУР (Кыргызстан)*

Пещера Сельунгур является самой большой карстовой полостью на территории западной части Центральной Азии, содержащей остатки материальной культуры древнего человека, палеоантропологические и палеонтологические находки в нескольких литологических подразделениях. Памятник исследовался в 80-х гг. XX в. и первоначально был определен как нижнепалеолитический объект. В результате изучения пещеры на новом этапе исследований в 2014–2017 гг. было доказано, что каменные комплексы пещеры Сельунгур имеют среднепалеолитические характеристики. Научная значимость объекта, объясняющаяся уникальностью антропологических и археологических находок, требует продолжения ее полевого изучения с применением новейших геофизических методов, облегчающих планирование раскопок, учитывая значительный размер самой пещеры и мощность рыхлых отложений. В статье описывается первый опыт применения комплексных геофизических методов в пещере на территории Центральной Азии. Применение методов электротомографии и магнитометрии продемонстрировало свою эффективность для определения потенциально наиболее информативных участков будущих археологических раскопок, непо потревоженных в результате исследований прошлых лет, со значительной мощностью рыхлых отложений и без крупных известняковых глыб.

Ключевые слова: Кыргызстан, средний палеолит, нижний палеолит, пещера, геофизические методы, культурный слой.

DOI: 10.14258/tpai(2017)4(20).-13

Введение

Пещера Сельунгур (Ферганская долина, Республика Кыргызстан) долгое время была известна как ключевой объект для изучения нижнего палеолита Средней Азии. Исследование пещеры проводилось в 1980-х гг. под руководством У.И. Исламова. Во время этих работ в нескольких раскопах было вскрыто пять культурных слоев, содержащих богатый археологический, фаунистический и палеоантропологический материалы и отнесенных исследователем к раннему палеолиту [Исламов, Крахмаль, 1995]. В результате нового этапа исследований, начатого в 2014 г. российско-канадско-кыргызской экспедицией, материалы пещеры Сельунгур рассматриваются как среднепалеолитические, но имеющие достаточно ранний хронологический контекст [Кривошапки и др., 2016].

Пещера Сельунгур расположена в долине р. Сох на северных склонах Алайского хребта, обрамляющего с юга Ферганскую долину. Пещера имеет карстовое происхож-

* Исследование выполнено в рамках гранта РФФИ 17-29-04122-офи-м, а также проектов Правительства РФ (Постановление №220), полученного ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», договор №14.Z50.31.0010, проект «Древнейшее заселение Сибири: формирование и динамика культуры на территории Северной Азии», и РГНФ №15-31-01000.

дение и состоит из двух широких галерей-коридоров длиной от капельной линии около 60 м. Вход в пещеру обращен к юго-востоку, имеет ширину 27 м и высоту 20 м. Пол пещеры в дальнем и переднем залах сильно понижается к выходу. Площадь пещеры составляет >1000 м². Рыхлые отложения памятника образуют мощную пачку, включающую голоценовые и плейстоценовые литологические подразделения, на некоторых участках их видимая совокупная мощность составляет более 5 м. На настоящем этапе исследования скальное основание было достигнуто только на одном участке раскопок.

Учитывая научное значение пещеры Сельунгур в качестве ключевого многослойного палеолитического объекта, обнаружение в ходе ее раскопок редкого для исследуемой территории палеоантропологического материала, значительную площадь объекта и мощность рыхлых отложений, необходимость проведения геофизических исследований для определения наиболее перспективных участков для раскопок является бесспорной. В работе описывается первый опыт применения комплексных геофизических методов в карстовой полости на территории Центральной Азии. Исследование археологических памятников геофизическими методами является распространенной в мире практикой [Eppelbaum, 2010; Geophysical..., 2008; Becker and Fassbinder, 2001; Kvamme, 2006; Conyers and Leckebusch, 2010], однако существуют лишь единичные публикации о применении этих методов в пещерах [Reeder, 2011; Jrad A. et al., 2014].

В полевом сезоне 2017 г. в пещере были выполнены геофизические исследования методами электротомографии, магнитометрии и георадиолокации. Работы выполнялись сотрудниками и студентами НГУ и ИНГГ СО РАН. Основная цель применения геофизических методов – определение перспективных зон для археологических раскопок.

Электротомография и георадиолокация применялись для определения мощности рыхлых отложений и формы кровли скального основания, а также локализации крупных глыб и выявления границ зон, сложенных материалом различного состава и влажности, что может быть связано со следами человеческой деятельности в пещере. Магнитометрические исследования выполнялись с целью выявления возможных неоднородностей строения и состава рыхлых отложений, связанных с зонами прокаливания в очагах, крупными камнями и следами земельных работ.

Методика геофизической съемки

Для геофизических исследований методом электротомографии использовалась многоэлектродная электроразведочная станция «Скала-48» [Балков, 2012]. Измерения проводились по шести параллельным профилям с интервалом 1 м (рис. 1). Для наблюдений была выбрана трехэлектродная (поле-дипольная) прямая и обратная установки с межэлектродным расстоянием 1 м, максимальный разнос 47 м, максимальная глубинность исследований составила 11 м. Для снижения значений сопротивлений заземлений место контакта электродов со средой поливалось соленой водой.

Обработка данных проводилась с помощью программ двумерной и трехмерной инверсии Res2Dinv и Res3Dinv [Loke, 2001, 2007].

Для георадиолокации применялся георадар ОКО-2 (ООО «Логические системы», Россия) с антенными блоками центральной частоты 400 МГц. На этих частотах глубинность метода достигает 5 м в средах с малым затуханием электромагнитной волны (скала, лед, песок). Для оценки информативности метода съемка выполнена на одном профиле, проходящем через середину площадки. Перемещение антенны осуществлялось волоком, а измерение расстояния – с помощью мерного колеса.

Магнитная съемка производилась на той же площадке, что и электротомография, по регулярной сети измерений с расстоянием между пикетами 1 м. Для съемки использовался магнитометр ММРОС-2 с двумя датчиками. Одновременно производились измерения модуля вектора магнитной индукции на высотах 0,5 и 1 м. Магнитные вариации учитывались при помощи магнитовариационной станции GEM-19T, расположенной вблизи участка съемки. По полученным данным была построена карта аномальных значений модуля вектора магнитной индукции. Погрешность определения аномальных значений модуля вектора магнитной индукции составила менее 1 нТл. Магнитная восприимчивость пород определялась в их естественном залегании при помощи каппаметра КТ-5 с погрешностью 10^{-5} СИ.

Для координатной привязки использовался цифровой теодолит Leica TS06plus R1000" в связке с полевым портативным контроллером Trimble Nomad 800I. Погрешность определения координат точек наблюдений при помощи теодолита составила менее 5 мм.

Результаты

Для данных электротомографии выполнена трехмерная инверсия и построены геоэлектрические разрезы, карты распределения удельного электрического сопротивления на разных глубинах.

Карта распределения удельного электрического сопротивления на глубине 1,5 м, характеризующая литологическое строение площадки, представлена на рисунке 2.

Удельное электрическое сопротивление отложений пещеры изменяется от первых десятков до первых тысяч Ом·м. Самые низкие удельные электрические сопротивления (до 100 Ом·м) характерны для влажного пещерного лёсса – рыхлых пылеватых отложений. Зоны, показанные цифрой 2, с сопротивлением 500–1000 Ом·м по составу представлены пещерной брекчией. Зона 3 захватывает участок с сопротивлением от 500 до 5000 Ом·м и соответствует современным обвальным отложениям. На местности на этом участке лежат валуны и глыбы, отколовшиеся от сводов пещеры. Отложения, имеющие сопротивление от 200 до 500 Ом·м, представлены маловлажным пещерным лёссом с щебнем.

На рисунке 3 представлен геоэлектрический разрез по профилю 4А–4В. В нижней части разреза выделяются коренные породы (600–2000 Ом·м), над которыми залегают рыхлые отложения (200–500 Ом·м). Можно видеть, что начиная с 35 м коренные породы резко погружаются. Такое поведение кровли коренных пород объясняется зоной разлома, секущего пещеру в поперечном направлении. Отложения с сопротивлением менее 100 Ом·м в интервале 25–30 и 35–40 м коррелируют с зоной 1 на карте и пред-

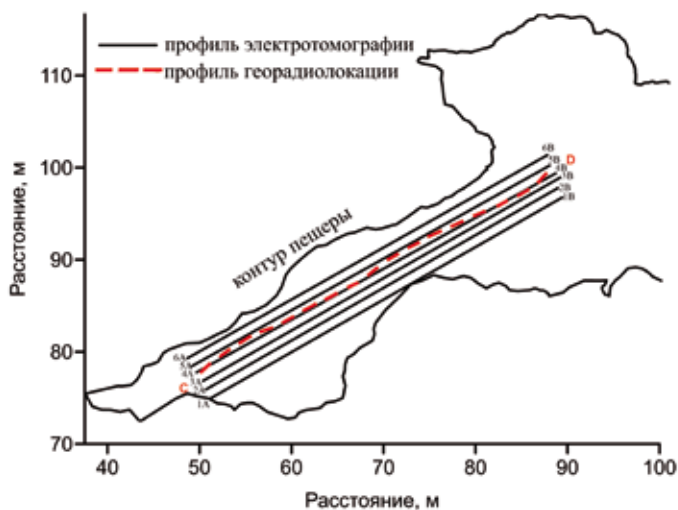


Рис. 1. Контур пещеры со схемой профилей

ставлены влажным пещерным лёссом. Зона 2, на карте соответствующая брекчиям, на разрезе видна в тех же местах, причем здесь можно наблюдать ее распространение под рыхлыми отложениями в интервале профиля от 7 до 18 и от 25 до 35 м. Также хорошо видна зона 3, где произошел обвал. На разрезе эта область выделяется локальной аномалией высокого удельного электрического сопротивления в интервале 41–43 м.

В результате интерпретации геоэлектрического разреза была построена геологическая схема пещеры (рис. 4). Сверху залегают рыхлые отложения, мощность которых не менее 8 м. В месте разлома мощность рыхлых отложений увеличивается более чем

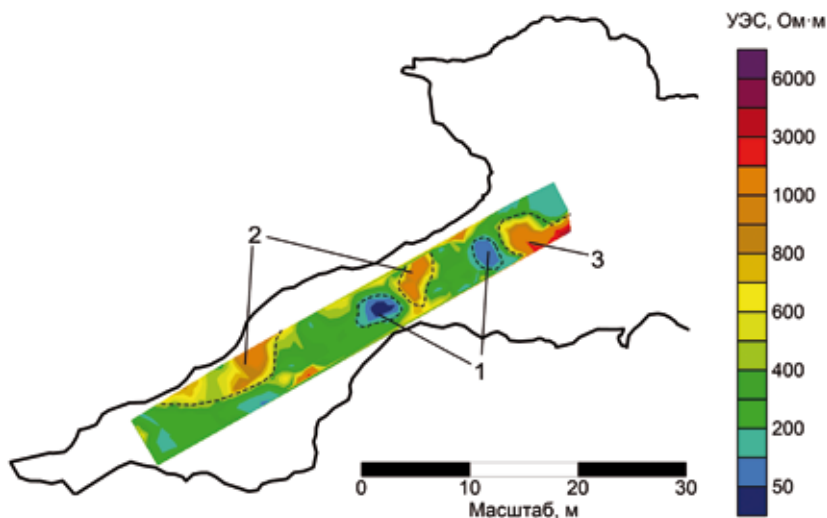


Рис. 2. Карта распределения удельного электрического сопротивления на площадке исследования на глубине 1,5 м: 1 – пещерные лёссы; 2 – брекчия; 3 – обвал

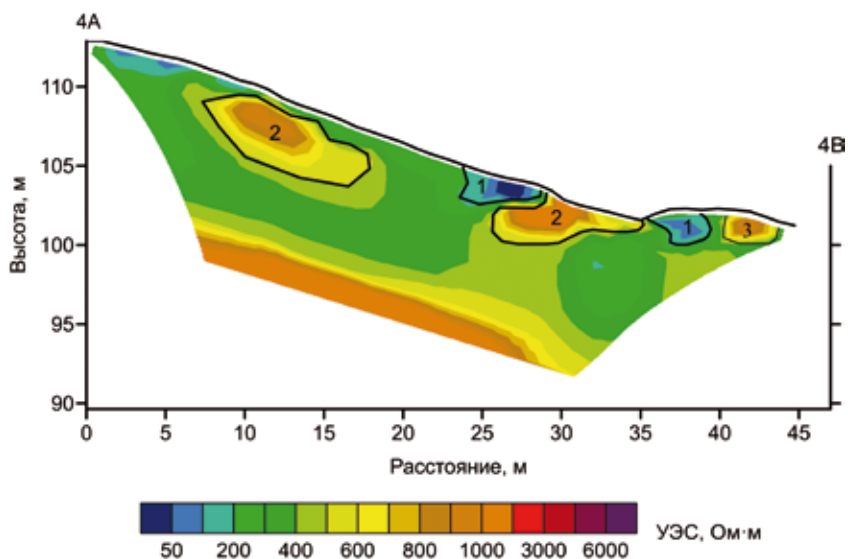


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю 4: 1 – пещерные лёссы; 2 – брекчия; 3 – обвал

на 3 м за счет погружения коренных пород. Следует отметить, что в зоне выделенного по геофизическим данным понижения кровли скального основания отмечается расширение пещеры (см. рис. 1). Кроме того, данная зона пересекается плоскостью разлома, наблюдаемого в обнажении в стенах пещеры.

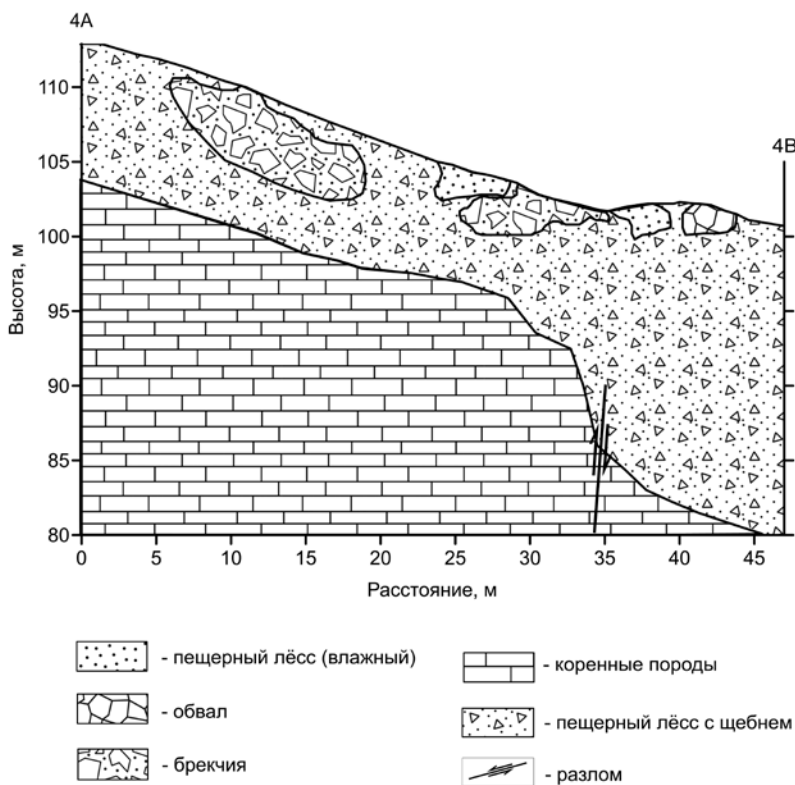


Рис. 4. Геологический разрез по профилю 4

На геологическом разрезе в интервале с 24 по 35 м наблюдается уменьшение мощности рыхлых отложений примерно на 1–2 м за счет поднятия рельефа коренных пород и по схеме (рис. 1) в этом же месте видно сужение пещеры.

На рисунке 5 на карте мощности рыхлых отложений видно, что в осевой части пещеры отмечается локальное уменьшение мощности отложений (1 на рисунке 5), связанное с поднятием поверхности коренных пород.

На рисунке 6 представлены поверхности рельефа пола пещеры и коренных пород. На рельефе коренных пород видно резкое погружение поверхности по направлению к выходу из пещеры, связанное с разломом. Следует отметить, что при продвижении в глубь пещеры мощность отложений остается практически постоянной, несмотря на то, что уменьшается высота галереи.

Высокоамплитудные биполярные аномалии в части участка, расположенной ближе к выходу из пещеры, вызваны, вероятно, фрагментами железных предметов, оставленных современными посетителями пещеры. Пещера была предварительно очищена от железного мусора, но не все предметы удалось извлечь. Локальные положительные аномалии относятся, вероятно, к зонам прокаливания. Время возникновения этих зон

установить на основании магнитной съемки практически невозможно. Единственным критерием для поиска следов прокаливания в древности может быть отсутствие сажи и фоновый уровень магнитной восприимчивости отложений на поверхности в ближайшей окрестности эпицентра магнитной аномалии. Общий уровень модуля вектора магнитной индукции падает в направлении выхода (на рисунке 7 видно понижение уровня в районе 20 м от оконечности пещеры). Причина этого не ясна. Магнитная восприимчивость рыхлых отложений (около $0,1-0,5 \cdot 10^{-3}$ СИ) на порядок превышает магнитную восприимчивость стен пещеры (около $0,02 \cdot 10^{-3}$ СИ). Крупные валуны и локальное понижение мощности рыхлых отложений могут быть причиной пониженных значений аномалий модуля вектора магнитной индукции (рис. 7).

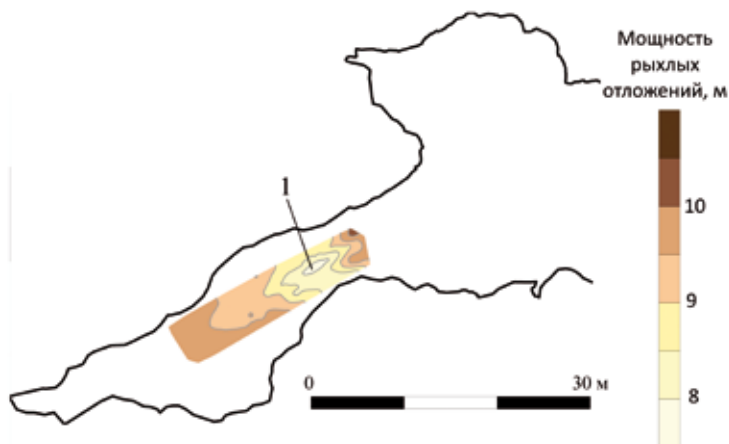


Рис. 5. Карта мощности рыхлых отложений на площадке исследования:
1 – участок локального поднятия кровли коренных пород

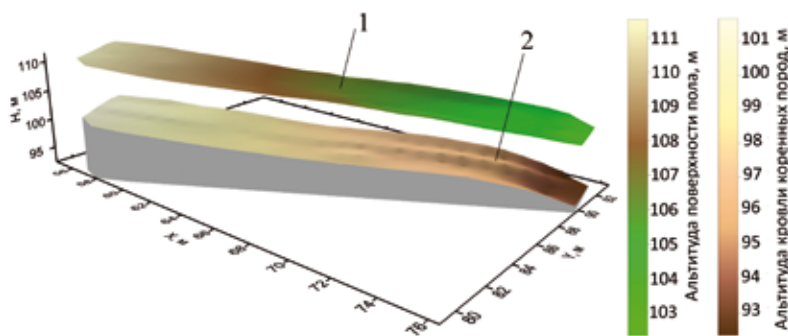


Рис. 6. Поверхности рельефа пола пещеры (1) и коренных пород (2):
1 – поверхность пола пещеры; 2 – поверхность рельефа коренных пород

На рисунке 8 показана радарограмма по профилю, проходящему по продольной оси галереи. На радарограмме в верхней части разреза выделяется отражающая граница, погружающаяся с глубины 0,5 в начале профиля до глубины 2 м в конце. Эта граница связана с отражением георадарного сигнала от потолка пещеры. Двойное время прихода отраженной волны в конце профиля равно 50 нс. Расчеты показывают, что высота пещеры в конце профиля составляет 7,5 м.

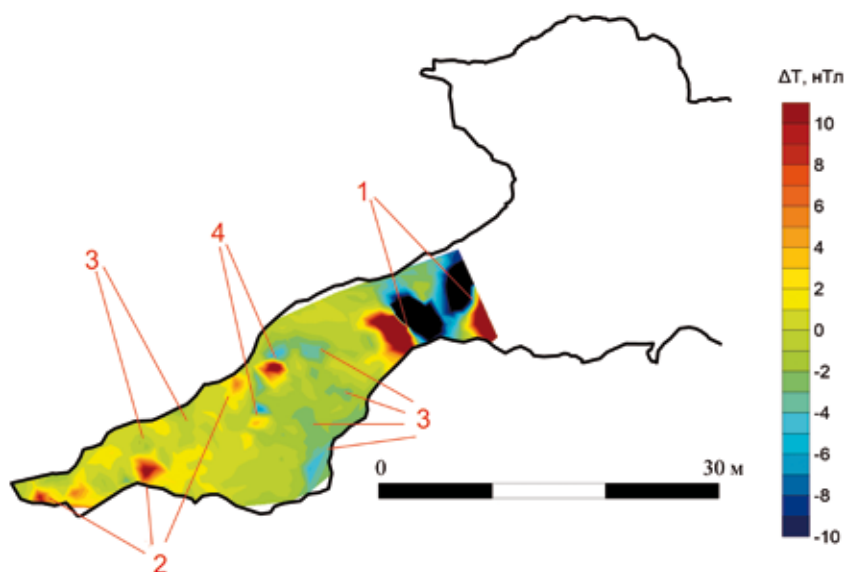


Рис. 7. Карта магнитных аномалий; возможная интерпретация:
1 – металлические предметы; 2 – следы прокаливания рыхлых отложений;
3 – валуны или выходы скального основания (пониженная мощность рыхлых отложений);
4 – керамика (также может быть локальным участком прокаленной глины)

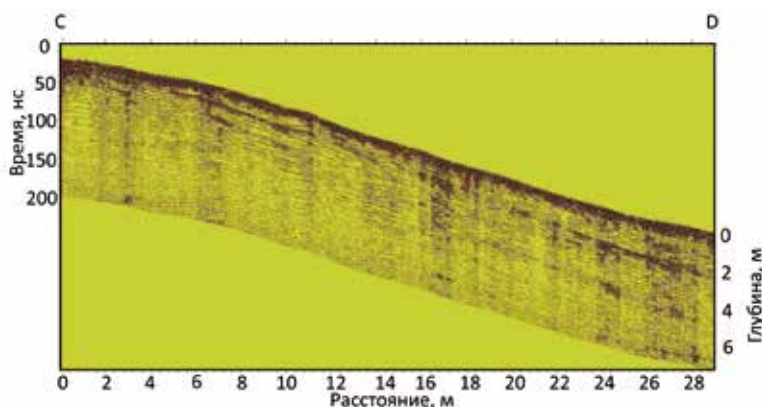


Рис. 8. Радарограмма вдоль профиля CD: центральная частота антенны – 400 МГц, глубина рассчитана для значения диэлектрической проницаемости, равной 6

В результате опытных работ методом ГРЛ установлено, что при использовании антенного блока центральной частоты 400 МГц недостаточно глубинности исследований. Регистрируемые отражающие границы на радарограммах связаны с отражением сигнала от потолка. Геологическая информативность георадиолокации в данном случае низкая.

Выводы

В результате исследований установлено, что электрическое сопротивление рыхлых отложений и коренных пород существенно различается, что дает возможность расчленивать разрез по литологии. В свою очередь сами рыхлые отложения (пещерный лёсс,

брекчия, обвальные) также хорошо различаются по удельному электрическому сопротивлению. По геофизическим данным мощность рыхлых отложений в пещере составляет не менее 7 м. При этом при продвижении в глубь пещеры мощность отложений не уменьшается, несмотря на подъем современной поверхности пола пещеры к своду.

Рисунок 7 представляет собой карту аномалий модуля вектора магнитной индукции, полученную методом прецизионной магнитной съемки.

В зоне предполагаемого разлома в месте расширения пещеры мощность рыхлых отложений увеличивается до 11 и более метров. Таким образом, отложения галереи мощностью 7–11 м с археологической точки зрения представляют большой интерес.

По данным магнитометрии выявлено четыре типа возможных источников магнитных аномалий (рис. 7): металлические предметы, следы прокаливания рыхлых отложений, валуны или выходы скального основания (пониженная мощность рыхлых отложений), четыре – керамика (также может быть локальным участком прокаленной глины).

Метод георадиолокации оказался малоинформативным в связи с недостаточной глубиной зондирования применяемого антенного блока и интенсивными отражениями от свода пещеры.

Примененный комплекс геофизических методов продемонстрировал свою эффективность для определения наиболее перспективных участков археологических раскопов, а именно, непоколебимость в результате исследований прошлых лет, значительная мощность рыхлых отложений и отсутствие крупных известняковых глыб.

Библиографический список

- Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика. 2012. №6. С. 54–63.
- Исламов У.И., Крахмаль К.А. Палеоэкология и следы древнего человека в Центральной Азии. Ташкент, 1995. 220 с.
- Кривошапкин А.И., Виола Б., Чаргынов Т., Крайцарж М., Колобова К.А., Шнайдер С.В., Романенко М.Е. Исследования среднепалеолитических комплексов пещеры Сельунгур в полевом сезоне 2016 г. // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2016. Т. XXII. С. 94–99.
- Becker H., Fassbinder J.W.E. Magnetic Prospecting in Archaeological Sites. Monuments and Sites. Munhen, 2001. 104 p.
- Conyers L.B., Leckebusch J. Geophysical Archaeology Research Agendas for the Future: Some Ground-penetrating Radar Examples // Archaeological Prospection. 2010. Vol. 17, Issue 2. P. 117–123.
- Eppelbaum L.V. Archaeological geophysics in Israel: past, present and future / Advances in Geoscience. 2010. Vol. 24. P. 45–68.
- David A., Linford N., Linford P. Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation. London, 2008. 60 p.
- Jrad A., Quesnel Y., Rochette P., Jallouli C., Khatib S., Boukbida H., Demory F. Magnetic investigations of buried palaeohearths inside a Palaeolithic cave (Lazaret, Nice, France) // Archaeological Prospection. 2014. Vol. 21, №2. P. 87–101.
- Kvamme K.L. Magnetometry: Nature's gift to archaeology // Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective. Tuscaloosa, 2006. P. 205–234.
- Loke M.H. RES2DINV ver. 3.50 // Rapid 2-D resistivity and IP inversion using the least square method. 2002. https://moodle.polymtl.ca/pluginfile.php/419838/mod_resource/content/0/MANUELRRES2Dinv.pdf
- Loke M.H. Res3Dinv Software, Version 2.14 // Geoelectrical imaging 2D&3D, Pinang. 2007. <http://personales.upv.es/jpadin/coursenotes.pdf>
- Reeder P. Geoarchaeology and karst: a new perspective // Karst management. Springer Netherlands, 2011. С. 169–200.

References

Balkov E.V., Panin G.L., Manshteyn Yu.A., Manshteyn A.K., Beloborodov V.A. Elektrotomografiya: apparatura, metodika i opyt primeneniya [Electromotography: Apparatus, Methods and Experience of Application]. Geofizika [Geophysics]. 2012. №6. Pp. 54–63.

Islamov U.I., Krakhmal' K.A. Paleokologiya i sledy drevnego cheloveka v Tsentral'noy Azii [Paleoecology and Traces of an Ancient Man in Central Asia]. Tashkent, 1995. 220 p.

Krivoshapkin A.I., Viola B., Charynov T., Kraysarzh M., Kolobova K.A., Shnayder S.V., Romanenko M.E. Issledovaniya srednepaleoliticheskikh kompleksov peshchery Sel'ungur v polevom sezone 2016 g. [Investigations of the Middle Paleolithic Complexes of the Selungur Cave in the Field Season of 2016]. Problemy arkhologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territoriy [Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories]. Novosibirsk: Izd-vo IAET SO RAN, 2016. Vol. XXII. Pp. 94–99.

Becker H., Fassbinder J.W.E. Magnetic Prospecting in Archaeological Sites. Monuments and Sites. Munhen, 2001. 104 p.

Conyers L.B., Leckebusch J. Geophysical Archaeology Research Agendas for the Future: Some Ground-penetrating Radar Examples // Archaeological Prospection. 2010. Vol. 17, Issue 2. P. 117–123.

Eppelbaum L.V. Archaeological Geophysics in Israel: Past, Present and Future / Advances in Geoscience. 2010. Vol. 24. P. 45–68.

David A., Linford N., Linford P. Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation. London, 2008. 60 p.

Jrad A., Quesnel Y., Rochette P., Jallouli C., Khatib S., Boukbida H., Demory F. Magnetic Investigations of Buried Palaeohearths Inside a Palaeolithic Cave (Lazaret, Nice, France) // Archaeological Prospection. 2014. Vol. 21, №2. Pp. 87–101.

Kvamme K.L. Magnetometry: Nature's Gift to Archaeology // Remote Sensing in Archaeology: An Explicitly North American Perspective. Tuscaloosa, 2006. P. 205–234.

Loke M.H. RES2DINV ver. 3.50 // Rapid 2-D Resistivity and IP Inversion Using the Least Square Method. 2002. https://moodle.polymtl.ca/pluginfile.php/419838/mod_resource/content/0/MANUELRES2Dinv.pdf

Loke M.H. Res3Dinv Software, Version 2.14 // Geoelectrical Imaging 2D&3D, Pinang. 2007. <http://personales.upv.es/jpadin/coursenotes.pdf>

Reeder P. Geoarchaeology and Karst: a New Perspective // Karst Management. Springer Netherlands, 2011. Pp. 169–200.

**L.V. Tsibizov, A.I. Krivoshapkin, P.S. Osipova,
V.V. Olenchenko, A.V. Grigorevskaya, B. Viola,
T. Charynov, K.A. Kolobova, S.V. Shneider**

APPROBATION OF THE COMPLEX OF GEOPHYSICAL METHODS IN THE OF SEL'UNGUR CAVE (KYRGYZSTAN)

The Sel'Ungur cave is the largest karst cavity in Western Central Asia which contains archaeological, paleoanthropological and paleontological remains embedded into several lithological layers. The site was excavated in the 80s of the 20th century when it was defined as the Lower Paleolithic item. As a result of a new study which began in 2014 it was proved that stone complexes from the Sel'Ungur cave have the Middle Paleolithic characteristics. Scientific significance of the site due to the uniqueness of its anthropological and archaeological finds requires further field research. Keeping in mind a formidable size of the cave and a notable thickness of its deposits it is worth applying the latest geophysical methods to choose the most potentially informative areas to excavate. The paper describes the first practice of integrated geophysics methods applied to stratified cave in Central Asia. The application of electromotography and magnetometry methods demonstrated their effectiveness in determining the areas of potential archaeological excavations – minor disturbance by previous excavations, considerable thickness of deposits, and absence of large limestone blocks.

Key words: Kyrgyzstan, Middle Paleolithic, Lower Paleolithic, cave, geophysics methods, cultural layer.