

**П.С. Осипова^{1,2}✉, А.Ю. Федорченко¹✉, М.И. Фокин²,
Д.А. Гурулёв³, М.В. Селецкий¹, Д.А. Тощий⁴, Н.Е. Белоусова¹,
П.С. Гребенюк⁵, А.И. Лебединцев⁵**

¹Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия

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

³АНО «Археологическое исследование Сибири»
Красноярск, Россия

⁴ООО НПО ЦИИС
Новосибирск, Россия

⁵Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН
Магадан, Россия

E-mail: osipovaps@ipgg.sbras.ru; winteralex2008@gmail.com

Исследование объектов культурного слоя палеолитической стоянки Ушки I методом электротомографии

В статье представлены результаты геофизических исследований методом электротомографии, проведенных в полевом сезоне 2024 г. на многослойной палеолитической стоянке Ушки I в Центральной Камчатке. Данный метод, основанный на измерении удельного электрического сопротивления (УЭС), применен на памятнике для определения мощности рыхлых отложений, выявления антропогенных аномалий и оценки перспективных участков для будущих раскопок. В предыдущие годы исследований на памятнике было выявлено два одновременных верхнепалеолитических поселения, принадлежащих двум различным культурам. В 2024 г. работы проводились на двух участках площадью 142,5 и 129 м² в границах раскопок 1984 и 1986 гг., в пределах которых ранее была удалена верхняя часть голоценовых отложений и детально изучен культурный слой VI с остатками жилищных конструкций и погребения, но не затронут нижележащий слой VII. Полученные геофизические профили пересекали границы ранее исследованных здесь объектов. По результатам зондирования установлена мощность рыхлых отложений, составляющая 2–2,5 м. В верхней части геоэлектрического разреза выявлены линзы низкого (40–80 Ом·м) УЭС, соответствующие слоям суглинков. На глубине 0,4 м обнаружена изометричная аномалия размером 1,0 × 0,7 × 0,1 м с УЭС 30–50 Ом·м, интерпретированная как прослой углистости, вероятно связанный с кострищем культурного слоя VII. Полученные результаты демонстрируют эффективность применения неинвазивных геофизических методов для выявления новых объектов антропогенного происхождения на памятнике Ушки I и подтверждают перспективность его дальнейшего археологического изучения.

Ключевые слова: Камчатка, Ушковские стоянки, электротомография, удельное электрическое сопротивление, верхний палеолит, кострища.

**P.S. Osipova^{1,2}✉, A.Y. Fedorchenko¹✉, M.I. Fokin²,
D.A. Gurulev³, M.V. Seletskiy¹, D.A. Totskiy⁴, N.E. Belousova¹,
P.S. Grebenyuk⁵, A.I. Lebedintsev⁵**

¹Institute of Archaeology and Ethnography of SB RAS
Novosibirsk, Russia

²Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
Novosibirsk, Russia

³Autonomous non-commercial organization «Siberian Archaeological Studies»
Krasnoyarsk, Russia

⁴LLC SPA CHCR
Novosibirsk, Russia

⁵North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute FEB RAS
Magadan, Russia

E-mail: osipovaps@ipgg.sbras.ru; winteralex2008@gmail.com

Investigation of the Cultural Layer from the Ushki I Paleolithic Site Using Electrical Resistivity Tomography

The article provides geophysical studies using the electrical resistivity tomography method conducted during the 2024 field season at the stratified Paleolithic site Ushki I in Central Kamchatka. This method is based on measuring the electrical resistivity. It was applied at the site to determine the thickness of loose deposits, identify anthropogenic anomalies, and assess promising areas for future excavations. In previous years, during the research at the site, two different Upper Paleolithic settlements belonging to two different cultures were identified. In 2024, two areas, 142.5 and 129 sq. m, were investigated within the boundaries of the 1984 and 1986 excavations, where the Holocene deposits had been removed earlier, and cultural layer VI containing the remains of dwellings and burials was examined in detail; however, underlying layer VII was left unexcavated. The obtained geophysical profiles crossed the boundaries of these previously investigated sites. The survey results established the thickness of loose deposits of 2–2.5 m. In the upper part of the geoelectric section, low resistivity lenses (40–80 Ohm·m) were identified, corresponding to loam layers. At a depth of 0.4 m, an isometric anomaly measuring $1 \times 0.7 \times 0.1$ m with the resistivity of 30–50 Ohm·m was discovered, which was interpreted as a carbonaceous interlayer likely associated with a hearth from cultural layer VII. The results demonstrate the effectiveness of non-invasive geophysical methods for identifying new anthropogenic features at the Ushki I site and confirm its prospects for further archaeological investigation.

Keywords: Kamchatka, Ushki sites, electrical resistivity tomography, electrical resistivity, Upper Paleolithic, hearths.

Введение

Многослойный памятник Ушки I расположен в Усть-Камчатском р-не Камчатского края в 15 км от пос. Козыревск, на Каменном мысе южного берега оз. Бол. Ушковское. Ушки I – первый из открытых и наиболее информативный стратифицированный объект верхнего палеолита Камчатки. В 1961–1991 гг. полномасштабные исследования на памятнике проводила экспедиция СВКНИИ ДВО РАН под руководством Н.Н. Дикова [Диков, 1977, 1979, 1993]. В результате были выявлены два одновременных поселения с остатками погребений, множеством наземных и углубленных жилищ, кострищ и производственных площадок, которые принадлежали оригинальным верхнепалеолитическим культурам: ранней (культурный слой (далее – к.с.) VII) и поздней ушковской (к.с. VI). В конце 1991 г. по завершении полевых работ на стоянке Ушки I общая площадь исследованного участка к.с. VI превысила 5 200 м², было обнаружено 40 жилищных конструкций. На участке около 2 800 м² был исследован слой VII, выявлены остатки 12 построек [Диков, 1993, с. 21–32]. В результате проведенных работ была описана культура древнейших обитателей полуострова и заложена основа для периодизации палеолита крайнего Северо-Востока Азии [Федорченко, Белоусова, 2020].

В 1990–2010-е гг. систематические работы на памятнике Ушки I не проводились; исключение составили ограниченные по своему объему шурфовочные работы и зачистки, реализованные в 2000 и 2007 гг. для уточнения стратиграфии и возраста верхнепалеолитических комплексов стоянки [Goebel, Waters, Dikova, 2003; Кренке и др., 2011]. В 2019 г. в рамках изысканий Камчатского отряда ИА РАН были проведены картирование и топосъемка Ушковских стоянок, позволившие оценить современное состояние памятника и уточнить локализацию раскопа 1961–1991 гг. В результате выполненных зачисток были получены новые данные о стратиграфии и возрасте выявленных здесь культурных слоев верхнего палеолита [Кренке и др., 2021].

В 2022–2024 гг. полевые работы на стоянке Ушки I были продолжены силами Камчатского верхнепалеолитического отряда ИАЭТ СО РАН. С целью определения мощности рыхлых отложений и поиска перспективных участков для будущих раскопок были проведены исследования неинвазивным методом электро-томографии (ЭТ) [Осипова, Федорченко, Пташинский, 2024]. Выбранный метод широко используется в археогеофизических исследованиях [Модин, 2010; Deiana, Leucci, Martorana, 2018], в т.ч. для обнаружения кострищ [Ermolaev, Olenchenko, 2024]. Геофизические изыскания в виде магнитометрической разведки применялись на памятнике Ушки I в начале 1980-х гг. [Диков, Алексеев, Малеванный, 1985]. В результате по аномалиям максимального возмущения магнитного поля (области, в которых на единицу площади приходится максимальное число изолиний) были предварительно локализованы объекты, интерпретированные как очаги, очажные камни и слои прокаленной глины на участках жилищных конструкций к.с. VI и VII. В отличие от магниторазведки, метод электротомографии основан на различии горных пород по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) и применялся на новом этапе изучения памятника впервые.

Объект и методика исследований

В 2024 г. объектом геофизического мониторинга выступили участки палеолитического слоя в границах раскопов 1984 и 1986 гг. Анализ полевой документации и архивных материалов показал, что на данной площади в результате работ предшествующих лет была удалена верхняя пачка голоценовых отложений, впоследствии был детально изучен нижележащий финально-палеолитический к.с. VI с остатками нескольких жилищных конструкций и одного погребения. Нижележащий к.с. VII, надежно консервируемый перекрывающими его стерильными прослоями серой супеси и желтого суглинка, остался совершенно не затронутым раскопками на обширной территории

[Диков, 1985, 1987]. Предполагалось дальнейшее изучение этого участка в рамках нового цикла экспедиционных работ, однако эти планы не были реализованы.

Зондирование проводилось на двух участках площадью 142,5 и 129 м². Полученные профили № 1–7 пересекали границы исследованных в к.с. VI наземных жилищ № X и XI. Профили № 10–14 проходили через известные границы полуземлянки № 10, в контурах которой были зафиксированы остатки каменной обкладки очага, погребальная яма, заполненная на момент измерений водой, и грунтовая насыпь, образованная выбросами из нее [Диков, 1993]. Линии профилей располагались на расстоянии 1 м друг от друга, шаг вдоль профиля составил 0,25 м. Электротомография выполнялась многоэлектродной аппаратурой «Скала-64к15» с использованием дипольной установки [Бобачев и др., 2013, с. 27–29]. Глубинность исследований не превышала 5 м. Длина профилей на площадке № 1 составляла 23,75 м, на площадке № 2 – 32,25 м. Первичная обработка данных ЭТ проведена в программе Xeris, обратная задача (инверсия) решена посредством программ Res2DInv и Res3DInv.

В задачи геофизического исследования входило определение глубины залегания кровли коренных отложений, выявление возможных углублений в их верхней части, поиск локальных объектов типа кострищ, хозяйственных или погребальных ям. Коренное основание, представленное конгломератом из обломков лав [Кренке и др., 2011], имеет повышенное удельное электрическое сопротивление (УЭС) относительно супесчано-суглинистых отложений. Известно [Egmoлаev, Olenchenko, 2024], что отложения кострищ отличаются низким удельным электрическим сопротивлением и создают интенсивную аномалию нормированной заряжаемости (m_n).

Результаты исследования

По результатам 3D-инверсии данных на площадке № 1 получена объемная модель распределения УЭС (рис. 1). В приповерхностной части разреза до глубины 0,5–0,6 м выделяются проводящие отложения с УЭС 40–80 Ом·м. Вероятно, они представлены влажными супесями и суглинками, что коррелирует с данными по стратиграфии стоянки. Ниже расположен слой с УЭС 90–150 Ом·м мощностью 1,9–2,1 м. Коренное основание выделяется относительно высоким УЭС 200–600 Ом·м. Интерес представляет локальная изометричная аномалия № 1 низкого УЭС 25–40 Ом·м, выделенная на объемной модели изоповерхностью. Для определения ее размеров в плане сделан горизонтальный срез УЭС по глубине 0,4 м (рис. 2, А), где аномалия наиболее интенсивна. Определено, что аномалия № 1 расположена на стыке квадратов ч-15, ч-16, ш-15, ш-16. Длинная ось аномалии равна 1 м, короткая – 0,7 м. Вблизи выделяются еще две проводящие изометричные аномалии меньшего диаметра (0,5–0,6 м). Кроме того, на северном краю карты, между квадратами ф-15 и ф-16, присутствует аномалия № 2 низкого УЭС (35–40 Ом·м).

Помимо карты УЭС построена карта нормированной заряжаемости (рис. 2, Б). Интенсивные значения (более 200 мВ/В) достигаются на северном краю карты, где выделена проводящая аномалия № 2, и в контуре выделенной аномалии № 1 в квадратах ч-15, ч-16, ш-15, ш-16. На плане стоянки в квадрате у-16 обнаружен очаг с углистостью. Мы полагаем, что северная проводящая аномалия № 2, сопровождающаяся высокими значениями m_n , вызвана боковым влиянием оставшихся после вскрытия углистых, а также прокаленных отложений, составлявших заполнения жилища № X слоя VI.

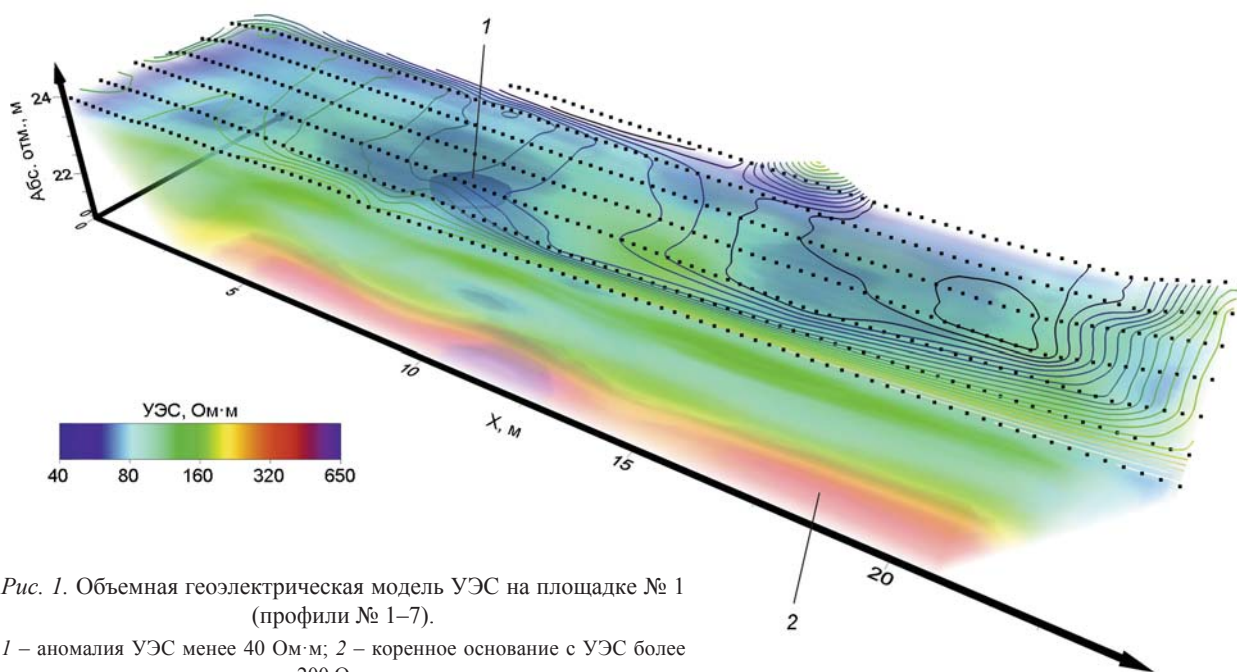


Рис. 1. Объемная геоэлектрическая модель УЭС на площадке № 1 (профили № 1–7).

1 – аномалия УЭС менее 40 Ом·м; 2 – коренное основание с УЭС более 200 Ом·м.

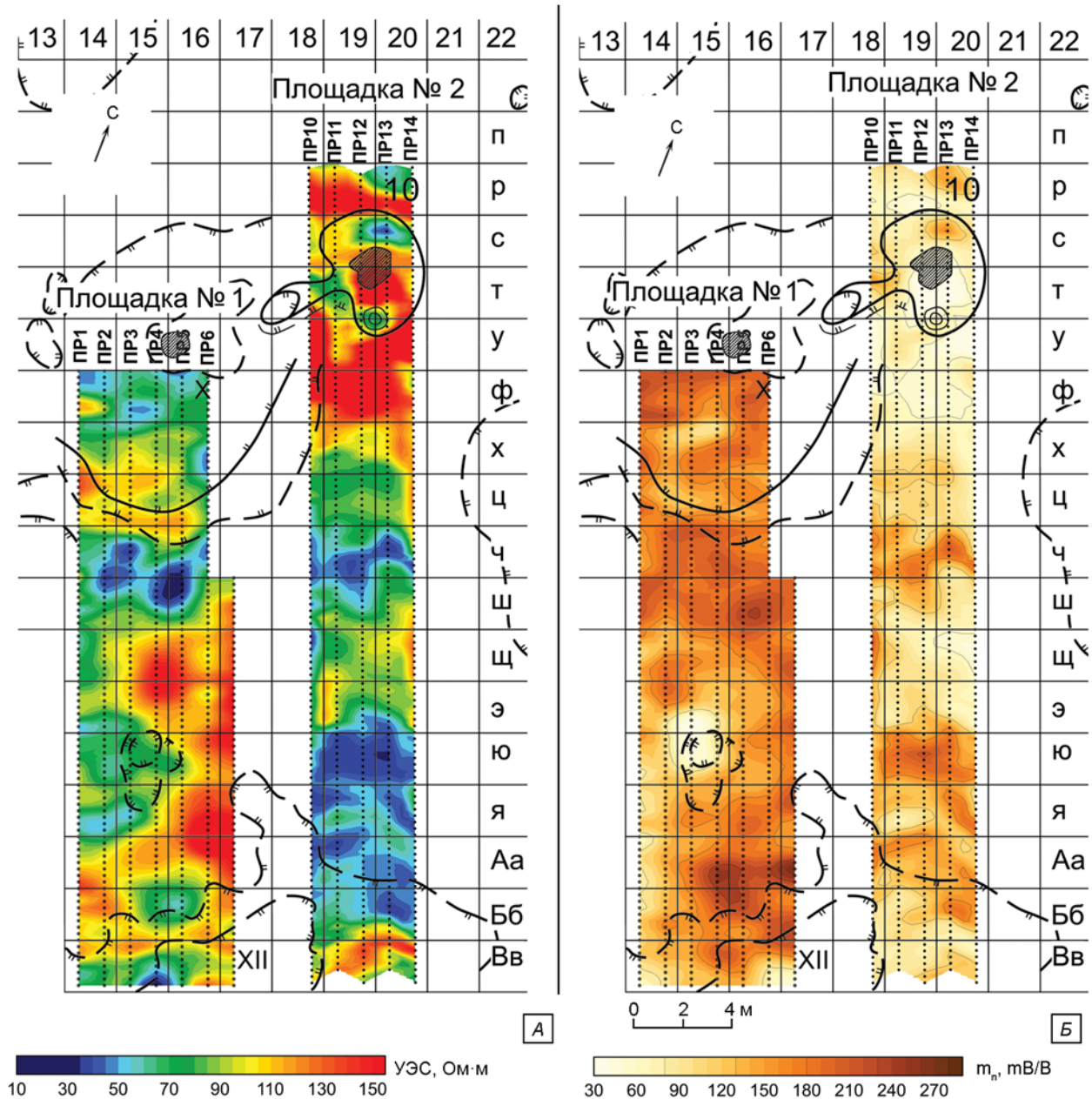


Рис. 2. План раскопа, схема расположения профилей и карты распределения УЭС (А) и нормированной заряжаемости (Б) на глубине 0,4 м для профилей № 1–7 и по абсолютным отметкам 23,5 м для профилей № 10–14.

В связи с этим предполагается наличие углистости и в контуре выделенной центральной аномалии № 1. По геоэлектрическому разрезу (рис. 3), проходящему через центр выделенной аномалии № 1, определено, что она залегает на глубине 0,4 м и имеет вертикальную мощность 0,1–0,2 м, что полностью соответствует глубине предполагаемого расположения к.с. VII и типичной мощности очажных пятен этого слоя.

На площадке № 2 перепады высот в окрестностях выкопанной полуземлянки № 10 сопоставимы с шагом между электродами, поэтому карта распределения УЭС (рис. 2, А) построена не по глубине, а по абсолютной отметке 23,5 м, что на относительно ровных участках соответствует глубине 0,4 м. В из-

вестных пределах жилища № 10 к.с. VI выделяются аномалии относительно высокого (170–220 Ом·м) и низкого (40–70 Ом·м) УЭС. Поскольку жилище, очаг и могила в его контуре были выкопаны, а затем раскоп был законсервирован, истинное залегание отложений объекта нарушено и говорить достоверно об их исходном геоэлектрическом строении невозможно. Однако исходя из того, что кострища определяются по низкому УЭС и повышенной m_n , можно предположить, что низкоомная изометричная аномалия в квадрате с-20, которой соответствует аномалия повышенной заряжаемости, связана с остатками углистых отложений очага. Кроме того, пониженным УЭС определяется область, оставшаяся от выкопанной

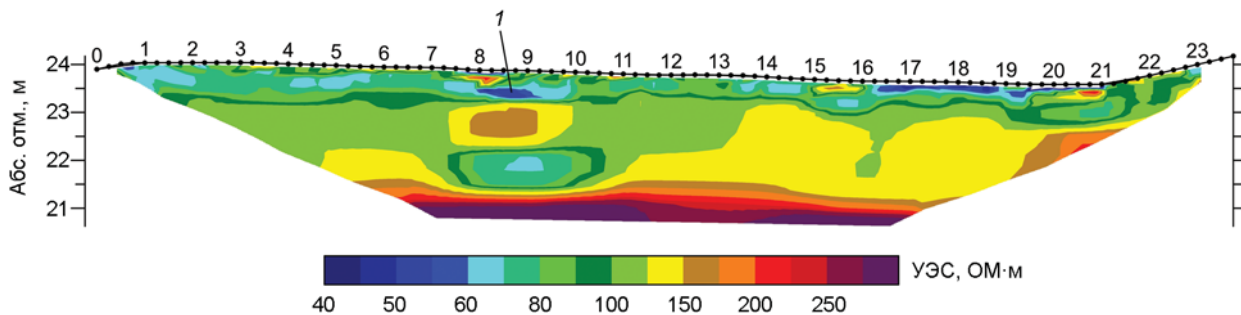


Рис. 3. Геоэлектрический разрез по профилю № 4 с аномалией УЭС 40 Ом·м (1), интерпретируемой как углистые отложения.

могилы, но на глубину она не прослеживается. Аномалии низкого УЭС в центральной и южной частях площадки № 2 не связаны с археологическими объектами. Из-за понижения рельефа аномалии пониженного УЭС от слоя суглинков залегают здесь глубже.

В результате проведенных геофизических исследований методом электротомографии на памятнике Ушки I было установлено, что мощность супесчано-суглинистых отложений в пределах охваченных исследованиями раскопок 1984 и 1986 гг. составляет 2,0–2,5 м. Слой суглинков в верхней части разреза определяется по УЭС 40–80 Ом·м. В его пределах на глубине 0,4 м выделены изометричные аномалии с УЭС 30–50 Ом·м. Наиболее интенсивная аномалия, расположенная на стыке квадратов ч-15, ч-16, ш-15, ш-16 размером 1,0 × 0,7 × 0,1 м, интерпретирована как прослой углистости, вероятно связанный с кострищем к.с. VII. Установить строение отложений в границах жилища № 10 не удалось, однако в его пределах, вблизи известного очага к.с. VI, выделена аномалия низкого УЭС, которая также может быть связана с остатками нижележащей интенсивной углистости. Таким образом, использование неинвазивных геофизических методов в контексте полевых исследований памятника Ушки I позволило идентифицировать новые объекты антропогенного происхождения, связанные с поселенческой активностью его древнейших обитателей.

Заключение

Анализ результатов геофизического мониторинга, материалов полевой документации, архивных и опубликованных источников позволяет сделать вывод о значительном потенциале памятника Ушки I для проведения дальнейших полевых археологических исследований. В настоящее время общая площадь стоянки, на которой не затронутым раскопками остается к.с. VII, составляет свыше 2 000 м². В ходе электротомографических исследований 2024 г. на двух участках раскопок 1984 и 1986 гг. выявлены контрастные аномалии, интерпретируемые как следы древних кострищ, что указывает на высокую вероятность обнаружения здесь новых жилищных комплексов. Эти данные хорошо согласуются с прогнозами Н.Н. Дикова, который по итогам последнего полномасштабного полевого сезона в 1991 г., основываясь

на 30-летнем опыте работ на Ушковских стоянках и результатах магниторазведки, предполагал наиболее перспективным продолжение работ в западном направлении от раскопа 1961–1991 гг. [Диков, Кирьяк, 1991]. В этой части памятника им прогнозировалось обнаружение еще как минимум одного углубленного жилища в к.с. VI и следов наземных конструкций в слое VII. Исследователем также не исключалось распространение жилищ древнейшего культурного слоя и в южном направлении [Там же, с. 13]. Результаты новых геофизических изысканий не только подтверждают справедливость предположений первооткрывателя стоянки Ушки I, но и позволяют локализовать наиболее перспективные участки для дальнейших археологических исследований древнейшего верхнепалеолитического слоя.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 24-28-01294 «Погребальные практики и символическая деятельность верхнепалеолитического населения Северо-Восточной Азии», <https://rscf.ru/project/24-28-01294/>.

Список литературы

- Бобачев А.А., Большаков Д.К., Модин И.Н., Шевнин В.А.** Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. – М.: Моск. гос. ун-т, 2013. – Т. II. Малоглубинная электроразведка. – 123 с.
- Диков Н.Н.** Археологические памятники Камчатки, Чукотки, Верхней Колымы. – М.: Наука, 1977. – 319 с.
- Диков Н.Н.** Древние культуры Северо-Восточной Азии. – М.: Наука, 1979. – 352 с.
- Диков Н.Н.** Отчет о полевых исследованиях на Чукотском полуострове и на стоянке Ушки I на Камчатке в 1984 г. // Архив ИА РАН. Ф. 1. Р. 1. № 10288. – Магадан, 1985. – 100 с.
- Диков Н.Н.** Отчет о полевых исследованиях на Чукотке и Камчатке в 1986 году // Архив ИА РАН. Ф. 1. Р. 1. № 11389. – Магадан, 1987. – 86 с.
- Диков Н.Н.** Палеолит Камчатки и Чукотки в связи с проблемой первоначального заселения Америки. – Магадан: СВКНИИ, 1993. – 68 с.

Диков Н.Н., Алексеев В.И., Малеванный Ю.В. Предварительные итоги магниторазведки на многослойной стоянке Ушки I // Новое в археологии Севера Дальнего Востока. – Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1985. – С. 35–39.

Диков Н.Н., Кирьяк Р.А. Отчет о полевых исследованиях на Камчатке в 1990 году (раскопки палеолитической стоянки Ушки I) // Архив ИА РАН. Ф. 1. Р. 1. № 14942. – Магадан, 1991. – 48 с.

Кренке Н.А., Ганичев К.А., Долбунова Е.В., Мазуркевич А.Н., Певзнер М.М., Пташинский А.В., Чаукин С.Н., Чаукина В.А. Работы Камчатского отряда ИА РАН // Археологические открытия 2019 года. – М.: ИА РАН, 2021. – С. 462–466.

Кренке Н.А., Леонова Е.В., Мелекесцев И.В., Певзнер М.М. Новые данные по стратиграфии Ушковских стоянок в долине р. Камчатка // РА. – 2011. – № 3. – С. 14–24.

Модин И.Н. Электроразведка в технической и археологической геофизике: автореф. ... д-ра техн. наук. – М., 2010. – 49 с.

Осипова П.С., Федорченко А.Ю., Пташинский А.В. Предварительные результаты электротомографии на археологических стоянках Центральной Камчатки // Инженерная и рудная геофизика – 2024: мат-лы конф. (Казань, 13–16 мая 2024 г.). – Казань: Казан. фед. ун-т, 2024. – С. 21–25.

Федорченко А.Ю., Белоусова Н.Е. Верхний палеолит Камчатки: основные результаты исследований 1980-х – начала 1990-х годов и актуальные проблемы на современном этапе // *Stratum plus*. Археология и культурная антропология. – 2020. – № 1. – С. 305–339.

Deiana R., Leucci G., Martorana R. New Perspectives on Geophysics for Archaeology: A Special Issue // *Surveys in Geophysics*. – 2018. – Vol. 39. – P. 1035–1038.

Ermolaev K.A., Olenchenko V.V. Geoelectrical Anomalies from Hearths and Their Origin // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2024. – Vol. 60, N 4. – P. 742–749.

Goebel T., Waters M.R., Dikova M. The archaeology of Ushki Lake, Kamchatka, and Pleistocene Peopling of the Americas // *Science*. – 2003. – Vol. 301. – P. 501–506.

References

Bobachev A.A., Bolshakov D.K., Modin I.N., Shevvin V.A. Elektrorazvedka: posobiye po elektrorazvedochnoy praktike dlya studentov geofizicheskikh spetsial'nostey. Vol. II. Maloglubinnaya elektrorazvedka. Moscow: Moscow State Univ. Publ., 2013. 123 p. (In Russ.).

Deiana R., Leucci G., Martorana R. New Perspectives on Geophysics for Archaeology: A Special Issue. *Surveys in Geophysics*. 2018, Vol. 39. P. 1035–1038.

Dikov N.N. Archaeological sites of Kamchatka, Chukotka, Upper Kolyma. Moscow: Nauka, 1977. 319 p. (In Russ.).

Dikov N.N. Ancient cultures of Northeast Asia. Moscow: Nauka, 1979. 352 p. (In Russ.).

Dikov N.N. Otchet o polevykh issledovaniyakh na Chukotskom poluostrove i na stoyanke Ushki I na Kamchatke v 1984 godu. *Archive of the Institute of archaeology (Moscow)*. F. 1. R. 1, No. 10288. Magadan, 1985. 100 p. (In Russ.).

Dikov N.N. Otchet o polevykh issledovaniyakh na Chukotke i Kamchatke v 1986 godu. *Archive of the Institute of archaeology (Moscow)*. F. 1. R. 1, No. 11389. Magadan, 1987. 86 p. (In Russ.).

Dikov N.N. Paleolit Kamchatki i Chukotki v svyazi s problemoy pervonachal'nogo zaseleniya Ameriki. Magadan: NEISR FEB RAS Publ., 1993. 68 p. (In Russ.).

Dikov N.N., Alekseyev V.I., Malevannyy Y.V. Predvaritel'nyye itogi magnitorazvedki na mnogoslnoyn stoyanke Ushki I. *Novoye v arkheologii Severa Dal'nego Vostoka*. Magadan: NEISR FEB RAS Publ., 1985. P. 35–39. (In Russ.).

Dikov N.N., Kiryak R.A. Otchet o polevykh issledovaniyakh na Kamchatke v 1990 godu (raskopki paleoliticheskoy stoyanki Ushki I). *Archive of the Institute of archaeology (Moscow)*. F. 1. R. 1. No. 14942. Magadan, 1991. 48 p. (In Russ.).

Ermolaev K.A., Olenchenko V.V. Geoelectrical Anomalies from Hearths and Their Origin. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2024. Vol. 60, No. 4. P. 742–749.

Fedorchenko A.Y., Belousova N.E. Upper Palaeolithic of Kamchatka: the main research results of the 1980s – early 1990s and current problems at the present stage. *Stratum Plus. Archaeology and Cultural Anthropology*. 2020. No. 1. P. 305–339. (In Russ.).

Goebel T., Waters M.R., Dikova M. The archaeology of Ushki Lake, Kamchatka, and Pleistocene Peopling of the Americas. *Science*. 2003. Vol. 301. P. 501–506.

Krenke N.A., Ganichev K.A., Dolbunova E.V., Mazurkevich A.N., Pevzner M.M., Ptashinsky A.V., Chaukin S.N., Chaukina V.A. Raboty Kamchatskogo otryada IA RAN. *Arkheologicheskiye otkrytiya 2019 goda*. Moscow: IA RAN, 2021. P. 462–466. (In Russ.).

Krenke N.A., Leonova E.V., Melekestsev I.V., Pevzner M.M. New data on the stratigraphy from Ushki sites in the valley of Kamchatka River. *Rossiiskaya arkheologiya*. 2011. No. 3. P. 14–24. (In Russ.).

Modin I.N. Electric prospecting in archeological and technical geophysics: dr. tech. sc. dissertation abstract. Moscow, 2010. 49 p. (In Russ.).

Osipova P.S., Fedorchenko A.Y., Ptashinskiy A.V. Predvaritel'nyye rezul'taty elektrotomografii na arkheologicheskikh stoyankakh Tsentral'noy Kamchatki. *Materialy konferentsii "Inzhenernaya i rudnaya geofizika 2024" (Kazan', 13–16 maya 2024 g.)*. Kazan': Kazan federal university, 2024. P. 21–25. (In Russ.).

Осипова П.С. <https://orcid.org/0000-0003-0510-6333>

Федорченко А.Ю. <https://orcid.org/0000-0001-7812-8037>

Фокин М.И. <https://orcid.org/0000-0003-2090-7155>

Гурулёв Д.А. <https://orcid.org/0000-0002-6992-3183>

Селецкий М.В. <https://orcid.org/0000-0003-2581-8792>

Тоцкий Д.А. <https://orcid.org/0009-0009-9461-5471>

Белоусова Н.Е. <https://orcid.org/0000-0001-7054-3738>

Гребенюк П.С. <https://orcid.org/0000-0001-9940-9962>

Лебединцев А.И. <https://orcid.org/0000-0003-2714-2116>

Дата сдачи рукописи: 24.10.2024 г.