Опыт детализации результатов магнитной съемки археологических памятников электроразведочными методами

Е. В. Балков¹, О. А. Позднякова², П. Г. Дядьков^{1,3}, Ю. Г. Карин¹
И. О. Шапаренко¹, Д. И. Фадеев¹

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
Новосибирск, Россия

² Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

Аннотация

На современном этапе актуальной является работа, направленная на извлечение максимального количества информации об археологических объектах с помощью геофизических методов. Реальные возможности для достижения этой цели дает комплексирование методов, различающихся по природе исследуемого геофизического поля. В 2018–2019 гг. на памятнике Усть-Тартасские курганы (Западная Сибирь) были проведены электроразведочные работы, участки для которых подбирались на основе данных магнитной съемки. Целью было получить дополнительную информацию о геометрии и глубине залегания археологических объектов, сравнить возможности различных методов по восстановлению их пространственных характеристик. Для исследований выбрано несколько отличных по характеру магнитных аномалий. Использованы методы малоглубинного частотного зондирования, электротомографии и георадиолокации. Удалось уточнить длину, ширину, глубину объектов, а также их конфигурацию. Сделаны выводы относительно типа изученных структур (погребение или яма, поселенческий комплекс). Наиболее информативные результаты, дополняющие данные магнитной съемки, получены с помощью метода электротомографии.

Ключевые слова

археологический памятник, комплексирование геофизических методов, магнитометрия, электротомография, малоглубинное частотное зондирование, георадиолокация

Благодарности

Работы проводились при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-29-04314)

Для цитирования

Балков Е. В., Позднякова О. А., Дядьков П. Г., Карин Ю. Г., Шапаренко И. О., Фадеев Д. И. Опыт детализации результатов магнитной съемки археологических памятников электроразведочными методами // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2019. Т. 17, № 4. С. 13–22. DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-4-13-22

The Experience of Detailing the Results of Magnetic Surveys of Archaeological Sites by Electrical Exploration Methods

E. V. Balkov¹, O. A. Pozdnyakova², P. G. Dyadkov^{1,3}, Yu. G. Karin¹
I. O. Shaparenko¹, D. I. Fadeev¹

¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

² Institute of Archeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

Annotation

Now, the work aimed at extracting maximum information about archaeological objects using geophysical methods is relevant. The possibilities for this give us the integration of various geophysical methods. In 2018–2019, electrical exploration works were carried out at the archaeological site Ust-Tartas mounds (Western Siberia). The sites for these works were selected based on magnetic survey data. The purpose of the research was to obtain additional information on the parameters of archaeological objects and to compare the possibilities of different geophysical methods. Several different magnetic anomalies were chosen for the studies. Methods of electromagnetic frequency sounding, electrotomography and georadiolocation were used. We were able to refine the length, width, depth of objects, and their configuration. The type of objects studied (burial or pit, settlement complex) is defined. The most informative results, which complement the magnetic survey data, are obtained using the electrotomography method.

Keywords

archaeological site, integration of geophysical methods, magnetometry, electrotomography, electromagnetic frequency sounding, georadiolocation

Acknowledgments

The work was carried out with the financial support of the Russian Federal Property Fund (project no. 17-29-04314)

For citation

Balkov E. V., Pozdnyakova O. A., Dyadkov P. G., Karin Yu. G., Shaparenko I. O., Fadeev D. I. The Experience of Detailing the Results of Magnetic Surveys of Archaeological Sites by Electrical Exploration Methods. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2019, vol. 17, no. 4, p. 13–22. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2019-17-4-13-22

Введение

В настоящее время археолого-геофизические исследования развиваются в русле идей не-деструктивной археологии, что предполагает получение максимально возможного количества информации об археологических объектах без раскопок. Анализ специализированной литературы свидетельствует о том, что магниторазведка в силу высокой производительности метода играет основную роль при определении планиграфических особенностей и границ археологических памятников, а также в планировании геофизических работ другими методами – электроразведочными и с использованием георадара [1]. Опубликованы работы по исследованию древних курганов и могильников с применением методов магнитометрии, электротомографии, электромагнитного профилирования. Здесь чаще применяется комплекс из каких-либо двух методов [2]. Весьма популярен метод электротомографии, который может применяться и отдельно, хотя масштабные площадные работы этим методом требуют значительных трудозатрат. Для изучения древних городищ и руин построек применяются комплексы, включающие магнитометрию, электротомографию и/или георадиолокацию [3]. Применение большего количества методов встречается реже, так как требует больших экономических затрат [4; 5].

Комплексирование различных геофизических методов, различающихся по природе исследуемого геофизического поля, безусловно, является наилучшим вариантом решения задач по получению максимальной информации об археологических объектах до раскопок. Преимущества магниторазведки для археологии более чем очевидны, однако при всей производи-

тельности и точности этот метод не дает нам сведений о глубине залегания и особенностях структуры археологических объектов. Об этом можно судить только косвенно, при условии знания магнитных свойств грунтов в районе работ. В течение последних лет, в рамках совместных исследований Института археологии и этнографии и Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, развиваются новые подходы к методике магнитных съемок, включающие совместные измерения градиента и аномального магнитного поля, а также разновысотные наблюдения. Это дает возможность на основе математического моделирования определять глубину залегания нижних кромок погребенных археологических объектов. Актуальность разработки алгоритмов, учитывающих данные разновысотных съемок, обусловлена, также, перспективами внедрения в археологические исследования нового высокопроизводительного метода аэромагнитной съемки. Однако, несмотря на динамичное развитие данных направлений, основными методами для оценки формы объектов и их положения в пространстве остаются электроразведочные методы – электропрофилирование и электротомография.

В рамках данной статьи мы освещаем опыт детализации и дополнения данных магнитной съемки электроразведочными методами, который может быть полезен для развития археогеофизики. Работы проводились с использованием современной серийной аппаратуры, которая обладает хорошей производительностью, точностью и разрешающей способностью. Она позволяет оперативно обрабатывать данные и корректировать направление исследований непосредственно в процессе работ, что имеет большое значение при изучении археологических комплексов. В качестве объекта исследований был выбран участок памятника Усть-Тартаские курганы (Венгеровский район Новосибирской области), где ранее был обнаружен археологический комплекс без внешних признаков, относящийся к эпохам неолита и бронзы.

Методы исследований и аппаратура

Применялся комплекс, включающий следующие геофизические методы: магнитометрия, электромагнитное профилирование, электротомография и георадиолокация, благодаря чему можно не только достоверно выделять объекты в плане, но и определять их геометрические характеристики.

При проведении магнитной съемки использовался метод вертикального градиента, применение которого дает возможность извлекать более полную и детальную информацию об археологических комплексах. Электромагнитное профилирование проводилось аппаратурой ЭМС. Она не имеет аналогов в России, а по сравнению с наиболее близкими по параметрам зарубежным разработками имеет ряд преимуществ: компенсация первичного поля генераторной катушки расширяет динамический диапазон измерений и позволяет измерять две компоненты сигнала, что повышает информативность и дает больше возможностей для интерпретации; используется наиболее широкий диапазон частот.

Для детальных исследований вертикального и объемного строения археологических объектов применяется французская аппаратура метода электротомографии Iris Syscal Pro Switch 48, российская аппаратура Скала-64 совместной разработки ИНГГ СО РАН и ООО «КБ Электрометрии», а также новая разработка ООО «КБ Электрометрии» Скала-48к12. К отличительным особенностям аппаратного комплекса 48к12, в сравнении с предыдущими разработками, относится: измеритель с низким уровнем шума и малым дрейфом нуля; более продуктивные алгоритмы обработки сигналов, в том числе учет эффекта самопроизвольной поляризации электродов [6]; лучшая защищенность от влаги и пыли; беспроводное управление. Высокая производительность и возможность высокоразрешающей съемки французской аппаратуры обусловлена использованием в ней 10 измерительных каналов. В приборах Скала-64 и Скала-48к12 используются 16 и 12 измерительных каналов соответственно, что обеспечивает уникальные скорость и разрешающую способность исследований.

Метод георадиолокации реализован в оборудовании компании IDS (Италия). К отличительным особенностям данной аппаратурной реализации относятся высокая производительность (до 1 га/ч), выделенная платформа для постобработки и частота 600 МГц.

Результаты комплексных исследований на памятнике Усть-Тартасские курганы

Памятник Усть-Тартасские курганы расположен в Венгеровском районе Новосибирской области. В 2016 г., на краю террасы был выявлен более ранний, не связанный с курганным могильником комплекс. В 2017 г. участок съемки был расширен [7], часть его подверглась раскопкам, в результате которых был обнаружен разновременный грунтовый могильник эпохи неолита – ранней, развитой бронзы, а также стоянка эпохи неолита [8]. Могильник имеет сложное, разнородное по площади многоуровневое строение. С 2016 г. археолого-геофизические работы проводятся там ежегодно. Территория не имеет рельефных признаков, поэтому для выявления перспективных для раскопок участков используется магнитная съемка, площадь которой в настоящее время составляет $\sim 16\,000\text{ м}^2$. В силу высокой концентрации магнитных аномалий на большой площади, с целью оптимизации дальнейших археологических работ необходимо было осуществить их «разбраковку» и определить тип некоторых объектов, для чего требовалось провести более детальное изучение их структуры в плане и по глубине дополнительными методами.

На рис. 1 показаны карты распределения градиента магнитного поля (*A*) по данным магнитометрии, кажущегося удельного сопротивления (*B*) по данным электромагнитной съемки аппаратурой ЭМС, разрезы по данным электротомографии (*B*) и результат георадарной съемки (*Г*) – карта распределения амплитуды приемного сигнала.

Дугообразная структура рва подтверждена тремя методами в плане (георадар, магнитометрия и электромагнитное профилирование), а метод электротомографии позволил оценить глубину рва и его геометрию: глубина рва до 1,3 м, ширина по профилю 1–3 м и вытянутая линзообразная изометричная форма, в то время как на профиле 2 ширина уменьшается до 2 м при сохранении глубины и параметров вмещающей среды. Наилучшим образом границы рва определяются по данным магнитометрии, по данным георадиолокации ров выделяется, но с 160 по 165 м (рис. 1, *Г*) изображение размыто, и ров практически не заметен на фоне вмещающей среды. По данным электроразведочных методов границы рва определяются с погрешностью 1,5 м, при этом на отметках с 12 по 27 м ров расширяется. Также из особенностей электроразведочных данных можно отметить разный знак аномалий: по данным электротомографии, заполнение рва имеет большее электросопротивление (более 100 Ом·м) относительно вмещающей среды, в то время как по данным электромагнитной съемки заполнение рва, наоборот, имеет кажущееся УЭС менее 40 Ом·м. Данный эффект, возможно, связан с большим влиянием самых верхних слоев на индукционный метод исследования. Аномалия пониженного кажущегося УЭС по данным электромагнитной съемки, расположенная в правом верхнем углу карты (рис. 1, *B*), также подтверждается магнитной съемкой, однако не выделяется на георадарных данных.

На рис. 2 представлены результаты комплексных исследований другого участка памятника Усть-Тартасские курганы.

По данным магнитометрии и электромагнитного профилирования выделяются четыре аномалии повышенного градиента магнитного поля на карте магнитометрии и повышенного кажущегося УЭС на карте электромагнитной съемки. Все аномалии эллиптической формы, большой диаметр от 4 до 6 м, малый от 3 до 5. Аномалия А5 имеет меньшую из всех глубину – не более 1 м, и что примечательно, отсутствует эффект различного знака аномалий, свойственный для объекта на рис. 1, сопротивление аномального участка больше вмещающей среды. Наиболее вероятно, что данные аномалии связаны с погребальными комплексами.

На рис. 3 аномалии, выделенные на третьем участке памятника по данным магнитометрии, подтверждены результатами съемки электротомографии, определены глубины аномальных зон А1–А3. Все аномалии одинакового типа по отношениям контраста УЭС с вмещающей средой. Глубина залегания интересующих объектов не превышает 1 м, значительна их ширина: А1, А2, А3 – 6, 4, 4 м соответственно. Объекты имеют яркие субвертикальные гра-

ницы в разрезах УЭС и вызывают большой интерес к дальнейшей разработке. Особенности аномалий позволяют предположить, что они связаны с котлованами жилищ.

Рис. 1. Результаты комплексного исследования участка 1 памятника Усть-Тартасские курганы:
 А – карта распределения градиента магнитного поля (модуля вектора магнитной индукции);
 Б – карта распределения кажущихся УЭС по данным электромагнитного профилирования аппаратурой ЭМС;
 В – геоэлектрические разрезы по данным электротомографии; Г – георадарные данные

Fig. 1. The results of a comprehensive study of site 1 of the monument Ust-Tartassky mounds:
 А – map of the distribution of the gradient of the magnetic field; Б – distribution map of apparent resistivity according to electromagnetic profiling by EMS equipment; В – geoelectrical sections according to ERT data; Г – GPR data

Рис. 2. Результаты комплексного исследования участка 2 памятника Усть-Тартасские курганы:
 А – карта распределения градиента магнитного поля (модуля вектора магнитной индукции);
 Б – карта распределения кажущихся УЭС по данным электромагнитного профилирования аппаратурой ЭМС;
 В, Г – геоэлектрические разрезы по данным электротомографии

Fig. 2. The results of a comprehensive study of site 2 of the monument Ust-Tartassky mounds:
 А – map of the distribution of the magnetic field gradient; Б – distribution map of apparent resistivity according to electromagnetic profiling by EMS equipment; В, Г – geoelectrical sections according to ERT data

Рис. 3. Результаты комплексного исследования участка 3 памятника Усть-Тартасские курганы:
 А – карта распределения градиента магнитного поля (модуля вектора магнитной индукции);
 Б – геоэлектрические разрезы по данным электротомографии

Fig. 3. The results of a comprehensive study of section 3 of the monument Ust-Tartassky mounds:
 A – map of the magnetic field gradient distribution; B – geoelectrical sections according to ERT data

Заключение

Анализ промежуточных результатов комплексных геофизических исследований показывает высокую перспективность применения электроразведочных методов при работе на памятниках без рельефных признаков. Они существенно дополняют результаты магнитной съемки, в том числе при наличии негативных факторов, снижающих ее эффективность. Совокупность всех геофизических данных позволяет не только уточнить глубину и геометрию, но и сделать вывод о типе археологического объекта. Тем самым становится решаемым комплекс задач по достижению степени информативности, необходимой для археологических исследований. Безусловно, результаты электроразведки нуждаются в археологической проверке для корректировки методики, оценки размеров ям, параметров двумерной инверсии данных, выбора оптимальной измерительной установки и возможных поправок на трехмерность искомых объектов. Требуется дополнительной корректировки привязка к спутниковым координатам и внедрение новой аппаратуры электромагнитного профилирования, которая исключает эффект смещения и умножения аномалий над приповерхностными объектами [9].

Список литературы

1. Журбин И. В., Иванова М. Г. Геофизические исследования Кушманского городища Уччакар в Прикамье // Археология, этнография и антропология Евразии. 2018. Т. 46, № 1. С. 76–85.

2. **Гонтарь М. И., Мирхашимов И. Х., Павлов И. И., Толегенов Е. Т.** Изучение погребального кургана древних кочевников Казахстана с использованием методов малоуглубинной геофизики // Инженерная и шахтная геофизика. 2018. DOI 10.3997/2214-4609.201800467
3. **Шейн А. Н., Гаркуша Ю. Н.** Геофизические исследования городища Усть-Войкарское в 2013–2014 гг. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.): Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология»: Сб. материалов: В 4 т. Новосибирск, 2017. Т. 3. С. 132–137.
4. **Журбин И. В., Иванова М. Г.** Алгоритм междисциплинарных исследований средневековых финно-угорских поселений // Тр. Камской археолого-этнографической экспедиции. 2018. № 14.
5. **Борисик А. Л., Кашкевич М. П., Шитов М. В.** Возможности геофизических методов при решении археологических задач в различных геолого-геоморфологических условиях // Инженерная и шахтная геофизика. 2018. DOI 10.3997/2214-4609.201800553
6. **Алымов А. О., Балков Е. В., Белобородов В. А.** Влияние переходного сопротивления и эффекта собственной поляризации электродов на качество измерений методом электротомографии // Инженерная и шахтная геофизика. 2018. DOI 10.3997/2214-4609.201800530
7. Результаты геофизических и геодезических работ на территории памятника Усть-Тартасские курганы // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2017. Т. 23. С. 307–311.
8. **Молодин В. И., Кобелева Л. С., Мыльникова Л. Н.** Ранненеолитическая стоянка Усть-Тартас-1 и ее культурно-хронологическая интерпретация // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2017. Т. 23, № 1. С. 172–177.
9. **Балков Е. В., Фадеев Д. И., Карин Ю. Г., Манштейн А. К., Манштейн Ю. А., Панин Г. Л.** Новый подход к малоуглубинным электромагнитным зондированиям // Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 5. С. 783–791. DOI 10.15372/GiG20170508

References

1. **Zhurbin I. V., Ivanova M. G.** Geofizicheskie issledovaniya Kushmanskogo gorodishcha Uchkakar v Prikam'e. *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2018, vol. 46, no. 1, p. 76–85. (in Russ.)
2. **Gontar M. I., Mirhashimov I. H., Pavlov I. I., Tolegenov E. T.** Izuchenie pogrebal'nogo kurgana drevnikh kochevnikov Kazakhstana s ispol'zovaniem metodov maloglubinnoi geofiziki. *Engineering and Mining Geophysics*, 2018. (in Russ.) DOI 10.3997/2214-4609.201800467
3. **Shein A. N., Garkusha Y. N.** Geofizicheskie issledovaniya gorodishcha Ust'-Voikarskoe v 2013–2014 gg. Interekspo GEO-Sibir'-2017. XIII Mezhdunar. nauch. kongr. (Novosibirsk, 17–21 aprelya 2017): Mezhdunar. nauch. konf. “Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Napravleniya i tekhnologii poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Ekonomika. Geoekologiya”. Sbornik materialov. Novosibirsk, 2017, vol. 3, p. 132–137. (in Russ.)
4. **Zhurbin I. V., Ivanova M. G.** Algoritn mezhdistsiplinarnykh issledovaniy srednevekovykh finno-ugorskikh poselenii. *Trudy Kamskoi arkheologo-etnograficheskoi ekspeditsii*, 2018, no. 14. (in Russ.)
5. **Borisik A. L., Kashkevich M. P., Shitov M. V.** Vozmozhnosti geofizicheskikh metodov pri reshenii arkheologicheskikh zadach v razlichnykh geologo-geomorfologicheskikh usloviyakh. *Engineering and Mining Geophysics*, 2018. (in Russ.) DOI 10.3997/2214-4609.201800553

6. **Alymov A. O., Balkov E. V., Beloborodov V. A.** Vliyanie perekhodnogo soprotivleniya i effekta sobstvennoi polarizatsii elektrodov na kachestvo izmerenii metodom elektrotomografii. *Engineering and Mining Geophysics*, 2018. (in Russ.) DOI 10.3997/2214-4609.201800530
7. The results of geophysical and geodesic work on the territory of the monument Ust-Tartassky mounds. In: Problems of archeology, ethnography, anthropology of Siberia and adjacent territories. Novosibirsk, IAET SB RAS Publ., 2017, vol. 23, p. 307–311. (in Russ.)
8. **Molodin V. I., Kobeleva L. S., Myl'nikova L. N.** Ranneneoliticheskaya stoyanka Ust'-Tartas-1 i ee kul'turno-khronologicheskaya interpretatsiya. In: Problemy arkheologii, etnografii, antropologii Sibiri i sopredel'nykh territorii. Novosibirsk, IAET SB RAS Publ., 2017, vol. 23, p. 172–177. (in Russ.)
9. **Balkov E. V., Fadeev D. I., Karin Y. G., Manshtein A. K., Manshtein Y. A., Panin G. L.** A new approach to shallow-depth electromagnetic sounding. *Geology and Geophysics*, 2017, vol. 58, no. 5, p. 783–791. (in Russ.)

Материал поступил в редколлегию

Received

14.11.2019

Сведения об авторах

Балков Евгений Вячеславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск, Россия)
BalkovEV@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0002-3712-6585

Позднякова Ольга Анатольевна, научный сотрудник Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск, Россия)
olka.pozdnyakova@gmail.com
ORCID 0000-0001-8376-0344

Дядьков Петр Георгиевич, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией естественных геофизических полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, доцент кафедры геофизики НГУ (Новосибирск, Россия)
DyadkovPG@ipgg.sbras.ru
ScopusID 6507115361

Карин Юрий Григорьевич, научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск, Россия)
KarinYG@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0003-1469-5336

Шапаренко Илья Олегович, младший научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск, Россия)
ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0002-5460-6505

Фадеев Денис Игоревич, младший научный сотрудник лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН (Новосибирск, Россия)
FadeevDI@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0003-0805-6650

Information about the Authors

Evgeny V. Balkov, PhD, Senior Researcher, Laboratory of Electromagnetic Fields, Institute of Petroleum Geology and Geophysics named after A. A. Trofimuk SB RAS (Novosibirsk, Russia)
BalkovEV@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0002-3712-6585

Olga A. Pozdnyakova, Researcher, Institute of Archeology and Ethnography SB RAS (Novosibirsk, Russia)
olka.pozdnyakova@gmail.com
ORCID 0000-0001-8376-0344

Petr G. Dyadkov, PhD, Head of the Laboratory of Natural Geophysical Fields of the Institute of Petroleum Geology and Geophysics named after A. A. Trofimuk SB RAS, Associate Professor, Department of Geophysics, NSU (Novosibirsk, Russia)
DyadkovPG@ipgg.sbras.ru
ScopusID 6507115361

Yuri G. Karin, Researcher, Laboratory of Electromagnetic Fields, Institute of Petroleum Geology and Geophysics named after A. A. Trofimuk SB RAS (Novosibirsk, Russia)
KarinYG@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0003-1469-5336

Ilya O. Shaparenko, Junior researcher of the Laboratory of Electromagnetic Fields of Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (Novosibirsk, Russia)
ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0003-1469-5336

Denis I. Fadeev, Junior researcher of the Laboratory of Electromagnetic Fields of Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS (Novosibirsk, Russia)
FadeevDI@ipgg.sbras.ru
ORCID 0000-0003-0805-6650