

УДК: 550.837.3; 550.370; 550.379; 550.837.311

ПРИМЕРЫ ВЫЯВЛЕНИЯ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ АНОМАЛИЙ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПО ПОЛЕВЫМ ДАННЫМ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Большаков Д.К., Модин И.Н., Черкасов В.Г.

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Введение

Возможности современной многоэлектродной аппаратуры [Бобачев и др., 2010] и особенности метода электротомографии (ЭТ) позволяют выполнять измерения тока и напряжения, результаты которых сохраняются в виде файлов-записей для последующей обработки [Бобачев и др., 2006]. Как правило, полевые данные метода ЭТ представляются в виде разрезов кажущегося сопротивления (КС), по которым с использованием программ двумерной инверсии получают разрезы удельного электрического сопротивления (УЭС). Программа обработки полевых записей ЭТ для электроразведочной станции «Омега-48» («TomoFusion», автор М.А. Андреев, www.logsys.ru) ориентирована не только на получение значений КС [Бобачев и др., 2010], но и на вычисление значений кажущейся вызванной поляризации (ВП). Однако, отметим, что для получения информации о поляризуемости геологической среды, как правило, предпочтение отдается измерениям в частотной области [Куликов и др., 2013]. Дополнительно, существует возможность получения из полевых записей метода ЭТ информации о полях электрохимической природы [Ефремов и др., 2022]. Таким образом, полевые данные метода ЭТ, фактически, содержат информацию о трех геоэлектрических характеристиках исследуемой геологической среды и могут быть использованы для получения оценок КС, ВП и значений естественного поля (ЕП) [Семенов, 1980; Nyquist, Corry, 2002]. Несмотря на то, что все эти характеристики имеют геоэлектрическую природу, при

решении малоглубинных задач инженерно-геологической направленности, результаты изучения их распределений информационно дополняют друг друга, являясь, фактически, результатами комплекса методов электроразведки постоянным током. Публикации о совместном использовании такого комплекса, данные которого получены только по результатам измерений метода ЭТ во временной области не встречаются и, по-видимому, полностью отсутствуют. Вместе с тем, совместное использование оценок КС и ВП по данным электрических зондирований в частотной области успешно применяется, например, для исследования особенностей строения месторождений песчано-гравийных смесей [Куликов и др., 2016, 2017]. Таким образом, кроме уже указанной возможности извлечения из данных метода ЭТ информации о ЕП [Ефремов и др., 2022], существует возможность извлечения из тех же данных информации о поляризуемости исследуемых приповерхностных геологических образований. Для измерений, полученных с электроразведочной станцией «Омега-48», указанная возможность реализуется путем использования стандартного программного обеспечения для первичной обработки полевых записей. Визуализация и анализ данных, полученных после первичной обработки, выполняются с привлечением программы «x2ipi» (автор А.А. Бобачев, <https://x2ipi.ru/>), традиционно применяемой для анализа, обработки и визуализации электротомографических данных различных форматов. В настоящем сообщении приведены практические примеры извлечения информации о поляризуемости исследуемой геологической среды из данных метода ЭТ, полученных на двух разных участках исследований.

Примеры разрезов кажущейся поляризуемости по данным ЭТ

Для первого участка исследований (метод ЭТ [Большаков и др., 2019] со встречными трехэлектродными установками Amp и mnp) данные о кажущейся поляризуемости представлены в виде разреза для установки

Амп (Рисунок 1, Б) совместно разрезом КС (Рисунок 1, А) и результатами двумерной инверсии (Рисунок 1, В). Основной особенностью представляемых данных является наличие аномалий с весьма незначительными (малыми) амплитудами, достигающими значений 0.35-0.4 мВ/В при значениях фона около 0.25 мВ/В и амплитудами шумов от 0.05 до 0.5 мВ/В. Несмотря на указанные соотношения, уверенное визуальное выявление двух аномальных областей (обведены жирными окружностями синего и красного цвета) возможно благодаря незначительному, но устойчивому, стабильному (среднее не изменяется) превышению поляризуемости в них над фоновыми значениями. Незначительные амплитуды повышенной поляризуемости, по-видимому, связаны с естественными природными причинами. Следует отметить, что центры этих двух изометричных областей аномальной поляризуемости смещены относительно центров двух зон с повышенными (более 700 Ом-м) значениями удельных сопротивлений, выявленными на разрезе УЭС, полученном по результатам двумерной инверсии (Рисунок 1, В).

Для второго участка исследований данные о кажущейся поляризуемости, полученные по измерениям методом ЭТ со встречными трехэлектродными установками Амп и мпВ [Большаков, Модин, 2024] представлены в виде разреза для установки Амп (Рисунок 2). Аналогично предыдущему примеру, особенностью представленных данных также является наличие аномалий с незначительными амплитудами, достигающими значений 3.5-4.0 мВ/В при значениях фона около 0.5 мВ/В и амплитудами шумов от 1.0 до 3.0 мВ/В. Уверенное визуальное выявление аномальной области на ПК 120-130 м (разносы 20-30 м) возможно благодаря формальному превышению поляризуемости, в нескольких (более пяти) ее точках, над фоновыми значениями более чем на три значения минимальной амплитуды шумов (около 1 мВ/В).

Обсуждение результатов

В целом, для двух представленных разрезов кажущейся поляризуемости (*Рисунок 1, Б* и *Рисунок 2*), полученных из данных электротомографии характерно пространственное и амплитудное разделение значений фона, ошибок измерений и шумов, выявленных зон аномальных значений. Действительно, несмотря на весьма низкие значения поляризуемости, при визуальном анализе продемонстрированных разрезов явно проявляются и высокочастотные (пространственные) помехи, и постоянные или плавно изменяющиеся (низкочастотные) фоновые значения, и области стабильно превышающие значения фона, указанные как аномальные. Полученные результаты являются следствием как правильно подобранных параметров методики [Большаков, Модин, 2024] измерений (геометрия установок, длительности сигналов, количество накоплений, значение тока в питающей линии), так и удовлетворительной аппаратной точности, присущей современной цифровой аппаратуре [Бобачев и др., 2010]. Необходимо отметить, что абсолютные значения аномалий вызванной поляризации, указанные в настоящем сообщении, являются весьма низкими и не рассматриваются как значимые. Вместе с тем, представленные результаты являются яркой демонстрацией как возможностей современной измерительной аппаратуры, так и возможностей метода электротомографии, применяемого при решении инженерно-геологических задач для построения геоэлектрических моделей с использованием, как правило, только значений сопротивлений, без извлечения из данных информации о поляризуемости исследуемой геологической среды. Это связано с тем, что значения кажущейся поляризуемости принято оценивать по данным, полученным в частотной области с выполнением измерений на нескольких частотах [Куликов и др., 2013], что значительно увеличивает время выполнения работ и требует применения аппаратуры другого, более высокого класса точности.

Выводы

Возможность получения информации о поляризуемости геологической среды из полевых записей метода электротомографии реализована с использованием стандартного программного обеспечения для обработки данных электроразведочной станции «Омега-48». Представленные полевые примеры демонстрируют высокое качество выполненных измерений и удовлетворительную работу алгоритма извлечения значений вызванной поляризации. Проведенное опробование показало возможность использования извлеченных данных для уверенного выявления аномалий поляризуемости с весьма низкими значениями амплитуд. Результаты успешного применения алгоритма стандартной обработки полевых записей электротомографических измерений с целью получения данных зондирования геологической среды в варианте вызванной поляризации позволяют утверждать, что эта возможность, практически не используемая в настоящее время при решении инженерно-геологических задач, является хорошей альтернативой более трудоемкому и дорогостоящему варианту зондирования в частотной области.

Заключение

Из полевых записей метода электротомографии, применяемого для решения задач инженерно-геологической направленности, возможно получение информации удовлетворительного качества о трех геоэлектрических характеристиках исследуемой геологической среды – сопротивлении, поляризуемости и электрохимической активности.

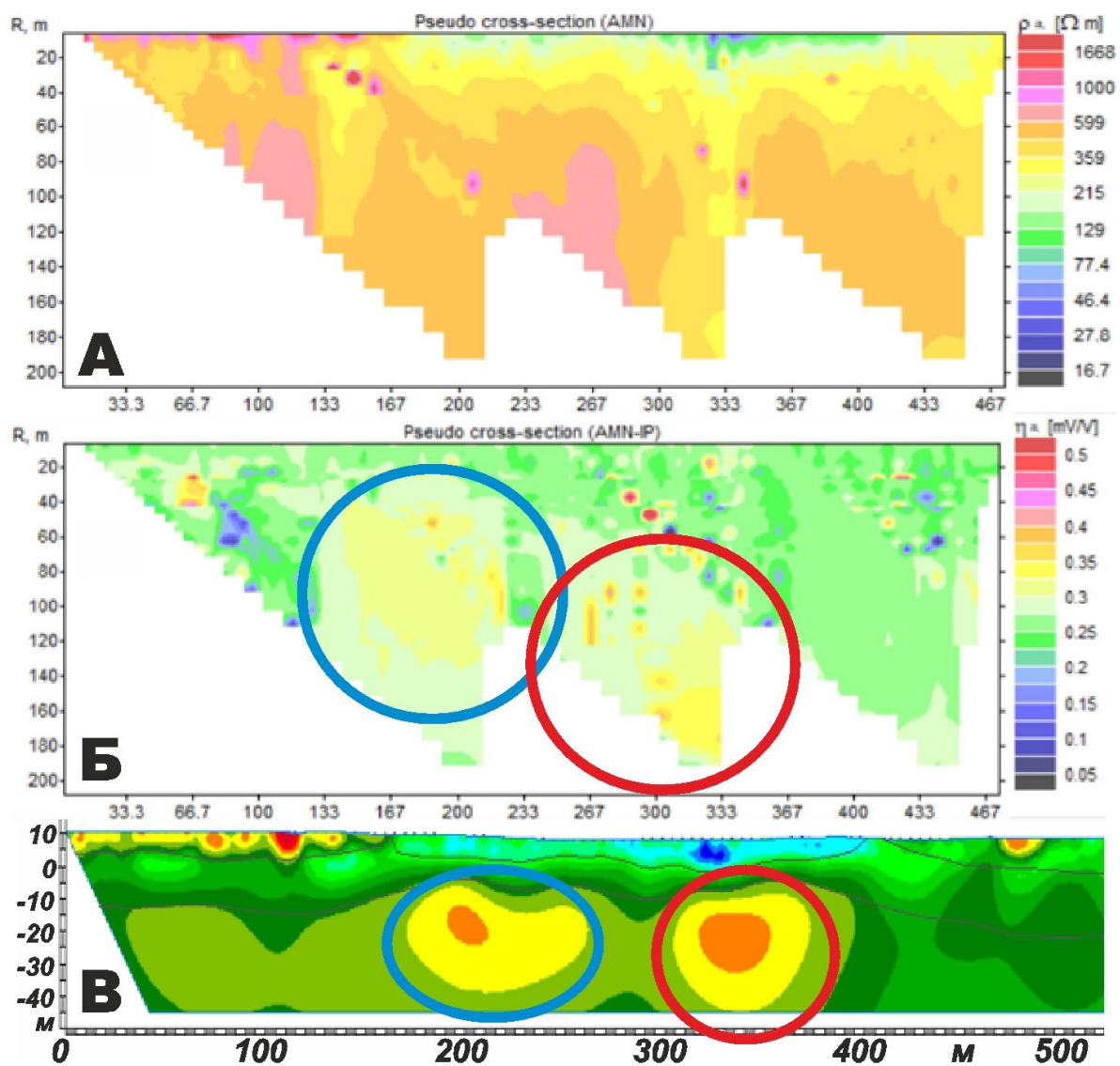


Рисунок 1. Полевые данные метода электротомографии для установки Амн (КС – А, ВП – Б) и результаты инверсии (УЭС – В)

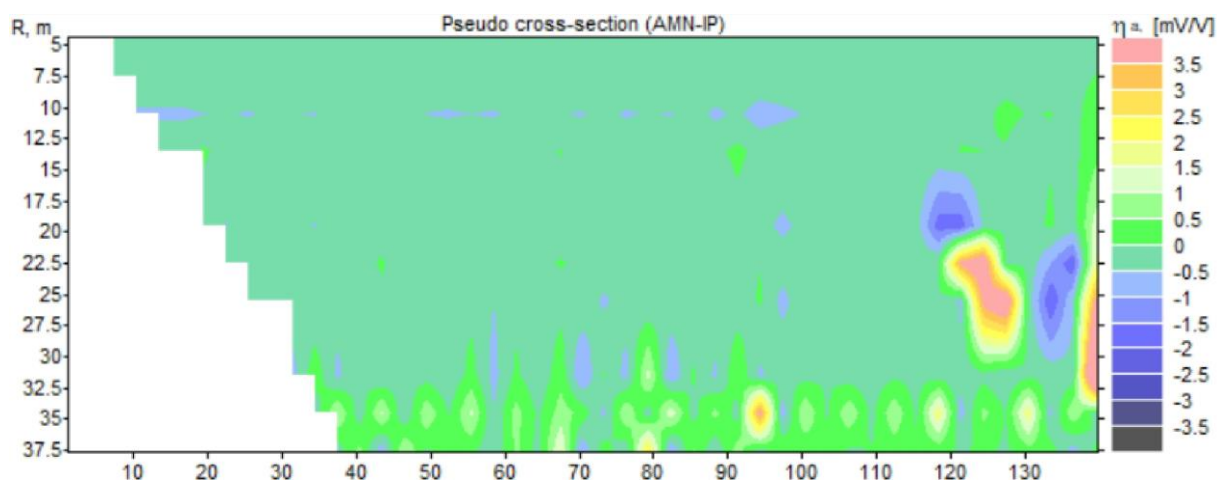


Рисунок 2. Разрез кажущейся поляризуемости для установки Амн

Литература

1. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы разведочной геофизики. 2006. № 2. С. 14-17.
2. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Дудник А.В., Андреев М.А., Каминский А.Е. Инструкция по выполнению работ методом наземной двумерной электротомографии с аппаратурой «Омега-48» / под ред. проф. И.Н. Модина, проф. В.А. Шевнина. М.: «НПЦ Геоскан», «Логис», 2010. 58 с.
3. Большаков Д.К., Модин И.Н., Ефремов К.Д. Многосегментная технология измерений методом электротомографии // "Ломоносовские чтения – 2019": материалы науч. конф., Секция "Геология", Москва, МГУ, Россия, 15-25 апреля 2019 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: <https://conf.msu.ru/rus/event/5604/>, 7 стр. (дата обращения: 16.04.2019)
4. Большаков Д.К., Модин И.Н. Результаты инверсии данных электротомографии для встречных трехэлектродных установок с измерительными линиями постоянной длины // ГеоЕвразия – 2024. Геологоразведочные технологии – наука и бизнес: материалы VII междунар. науч. конф., Москва, Россия, 12-14 марта 2024 [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: <https://www.gece.moscow/2024> (дата обращения: 16.04.2024)
5. Ефремов И.Д., Большаков Д.К., Модин И.Н. Возможность использования полевых записей метода электротомографии для получения информации о полях электрохимической природы // ГеоЕвразия – 2022. Геологоразведочные технологии – наука и бизнес: материалы V междунар. науч. конф., Москва, Россия, 2022. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. – URL: <https://www.gece.moscow/2022> (дата обращения: 27.03.2023)

6. Куликов В.А., Зорин Н.И., Манжеева И.Т., Яковлев А.Г. Разделение аномалий вызванной поляризации по частотным характеристикам дифференциального фазового параметра. // Геофизика. 2013. №6. С.23-31.
7. Куликов В.А., Аношина С.А., Соловьева А.В. Результаты использования метода ВЭЗ-ВП при изучении песчано-гравийных смесей на территории Мосальского района // Вестник Московского Университета. Сер. Геология. 2016. № 2. С. 52–58.
8. Куликов В.А., Аношина С.А., Соловьева А.В., Яковлев А.Г. Использование метода вызванной поляризации при изучении песчано-гравийных отложений // Инженерные изыскания. 2016. № 14. С. 42–49.
9. Куликов В. А., Аношина С. А., Соловьева А.В. Результаты опытных работ методом ЭТ-ВП на месторождении песчано-гравийных отложений Вязищи в Калужской области//Инженерные изыскания.2017.№8.С.44-54.
10. Семёнов А.С. [1980] Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., «Недра». 1980. 446 с.
11. Nyquist J. E., Corry C. E. Self-potential: The ugly duckling of environmental geophysics. The Leading Edge, 2002, 21(5). DOI: 10.1190/1.1481251.

Намунаҳои ошкор кардани аномалияҳои камамплитудайи поляризатсияи ба вучуд омада аз рӯи маълумоти майдонии усули электротомография

Большаков Д.К., Модин И.Н., Черкасов В.Г.

Факултети геологии МДУ Ба Номи М. В. Ломоносов

Аннотацияи

Маълумоти ченкунии электротомографии ҳангоми ҳалли масъалаҳои муҳандисӣ-геологӣ ба даст овардашуда маълумотро дар бораи се хусусияти геоэлектрикии муҳити геологии омӯхташуда дар бар мегирад. Натиҷаҳои санҷиши электрикии бо усули электротомография иҷрошаванда барои сохтани моделҳои геоэлектрикӣ, одатан, танҳо бо ҷалби маълумот дар бораи муқовимати зоҳирӣ истифода мешаванд. Нармафзори коркарди аввалияи сабтҳои саҳроӣ, ки аз истгоҳи барқии Омега-48 гирифта шудааст, имкон медиҳад, ки маълумот дар бораи муқовимати зоҳирӣ ва ҳам дар бораи поляризатсияи зоҳирӣ гирифта шавад. Дар паём натиҷаҳои истихроҷи ин хусусиятҳо оварда шудаанд. Хусусияти асосии маълумоти гирифташуда дар бораи поляризатсияи зоҳирӣ мавҷудияти аномалияҳо бо амплитудайи хеле паст мебошад, ки одатан муҳим ҳисобида намешаванд ва ҳангоми сохтани моделҳои геоэлектрикӣ ба назар гирифта намешаванд. Дар баробари ин, муайян кардани ин аномалияҳо сифати қаноатбахши ҳам сабтҳои саҳроӣ ва ҳам маълумотро дар бораи поляризатсияи зоҳирии онҳо нишон медиҳад. Натиҷаҳои пешниҳодшуда имкон медиҳанд, ки варианти озмоишии санҷиши барқӣ бо поляризатсияи ба вучуд омада алтернативаи хуб ба варианти анъанавии ченкунии бештар истифодашаванда дар минтақаи басомади аст.

Калимаҳои калидӣ

Санҷиши барқӣ, чараени доимӣ, электротомография, поляризатсияи ба вучуд омада, маълумоти саҳроӣ, коркарди аввалия, муқовимати зоҳирӣ, поляризатсияи зоҳирӣ.

Большаков Дмитрий Константинович, к. ф.-м. н., дотсент аз рӯи кафедра, факултаи геологияи МДУ Ба Номи М. В. Ломоносов, дотсент; +7(495)9394963; dkbolshakov@yandex.ru; Русия, Шаҳри Москва, 119991, Кӯҳҳои Ленин, хонаи 1, факултаи Геология

Модин Игор Николаевич, д.т. н., дотсент/снс. аз рӯи ихтисоси по 011200, факултаи геологияи МДУ Ба Номи М. В. Ломоносов, профессор; +7 (495) 9394963; imodin@yandex.ru; Русия, Шаҳри Москва, 119991, Кӯҳҳои Ленин, хонаи 1, факултаи Геология

Черкасов Василий Григорьевич, факултаи геологияи МДУ Ба Номи М. В. Ломоносов, аспирант; +7(495)9394963; vasiliycherkasov20@gmail.com; Русия, Шаҳри Москва, 119991, Кӯҳҳои Ленин, хонаи 1, факултаи Геология

Примеры выявления малоамплитудных аномалий вызванной поляризации по полевым данным метода электротомографии

Большаков Д.К., Модин И.Н., Черкасов В.Г.

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Аннотация

Данные электротомографических измерений, получаемые при решении инженерно-геологических задач содержат информацию о трех геоэлектрических характеристиках изучаемой геологической среды. Результаты выполняемых методом электротомографии электрических зондирований используются для построения геоэлектрических моделей, как правило, только с привлечением информации о кажущемся сопротивлении. Программное обеспечение для первичной обработки полевых записей, полученных с электроразведочной станцией «Омега-48», позволяет извлекать информацию как о кажущемся сопротивлении, так и о кажущейся поляризуемости. В сообщении представлены результаты извлечения этих характеристик. Основной особенностью извлеченных данных о кажущейся поляризуемости является присутствие аномалий с весьма низкими амплитудами, которые, как правило, не считаются значимыми и не принимаются в рассмотрение при построении геоэлектрических моделей. Вместе с тем, уверенное выявление этих аномалий демонстрирует удовлетворительное качество как самих полевых записей, так и данных о кажущейся поляризуемости из них извлеченных. Представленные результаты позволяют утверждать, что опробованный вариант электрических зондирований с вызванной поляризацией является хорошей альтернативой традиционному, наиболее часто используемому варианту измерений в частотной области.

Ключевые слова

Электрические зондирования, постоянный ток, электротомография, вызванная поляризация, полевые данные, первичная обработка, кажущееся сопротивление, кажущаяся поляризуемость.

Большаков Дмитрий Константинович, к.ф.-м.н., доцент по кафедре, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент; +7(495)9394963; dkbolshakov@yandex.ru; Россия, г. Москва, 119991, Ленинские Горы, д.1, Геологический факультет

Модин Игорь Николаевич, д.т.н., доцент/с.н.с. по специальности № 011200, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор; +7(495)9394963; imodin@yandex.ru; Россия, г. Москва, 119991, Ленинские Горы, д.1, Геологический факультет

Черкасов Василий Григорьевич, геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, аспирант; +7(495)9394963; vasiliycherkasov20@gmail.com; Россия, г. Москва, 119991, Ленинские Горы, д.1, Геологический факультет

Examples of detection of low-amplitude anomalies of Induced Polarization based on field ERT data

Bolshakov D.K., Modin I.N., Cherkasov V.G.

Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University

Abstract

The data of electrotomographic measurements obtained in solving engineering and geological problems contain information about three geoelectric characteristics of the studied geological environment. The results of electrical soundings performed by the ERT method are used to construct geoelectric models, as a rule, only using information about apparent resistance. Software for the primary processing of field recordings obtained from the «Omega-48» electrical exploration station allows you to extract information about both apparent resistance and apparent polarizability. The report presents the results of extracting these characteristics. The main feature of the extracted data on apparent polarizability is the presence of anomalies with very low amplitudes, which, as a rule, are not considered significant and are not taken into account when constructing geoelectric models. At the same time, the confident identification of these anomalies demonstrates the satisfactory quality of both the field records themselves and the data on the apparent polarizability of the extracted ones. The presented results suggest that the tested version of electric sensing with induced polarization is a good alternative to the traditional, most commonly used version of measurements in the frequency domain.

Keywords

Electrical sounding, direct current, ERT, Induced Polarization, field data, primary processing, apparent resistivity, apparent polarizability.

Bolshakov Dmitry Konstantinovich, Ph.D.-M.Sc., Associate Professor, Department of Geology, Lomonosov Moscow State University, Associate

Professor; +7(495)9394963; dkbolshakov@yandex.ru; Russia, Moscow, 119991, Leninskie Gory, 1, Geology Department.

Modin Igor Nikolaevich, Ph.D., Associate Professor/S.S.S. in specialty No. 011200, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Professor; +7(495)9394963; imodin@yandex.ru; Russia, Moscow, 119991, Leninskie Gory, 1, Geology Department

Cherkasov Vasily Grigorievich, Department of Geology, Lomonosov Moscow State University, PhD student; +7(495)9394963; vasilijcherkasov20@gmail.com; Russia, Moscow, 119991, Leninskie Gory, 1, Geology Department