

## **ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОРЛОВСКОЙ ВПАДИНЫ НАЗЕМНЫМИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ С КОНТРОЛИРУЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**

### ***Айдиса Михайловна Санчаа***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник, тел. 8(383)330-49-54, e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

### ***Нина Николаевна Неведрова***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, доцент, главный научный сотрудник, тел. 8(383)333-16-39, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

### ***Сергей Михайлович Бабушкин***

Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, зам. директора филиала, тел. (383)333-32-28, e-mail: bab@gs.sbras.ru

### ***Илья Олегович Шапаренко***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник, тел. +7-952-926-25-83, e-mail: ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru

### ***Александр Евгеньевич Шалагинов***

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. +7-913-788-91-31, e-mail: ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru

В статье представлены первые результаты исследования Горловской впадины в районе угольных месторождений Новосибирской области методами наземной электроразведки с использованием зондирования становлением поля и электротомографии. получены приповерхностные модели до глубин в 100 м, а также и глубинные геоэлектрические характеристики осадочного заполнения впадины, восточного разломного ограничения.

**Ключевые слова:** Горловская впадина, зондирования становлением поля, электротомография, геоэлектрическое строение, разломы, землетрясения

## **FIRST RESULTS OF STUDIES IN THE GORLOVSKAYA VALUES BY GROUND METHODS OF ELECTRIC EXPLORATION WITH CONTROLLED SOURCES**

### ***Aidisa M. Sanchaa***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, Leading Scientist, tel.: +7-913-920-17-48, e-mail: SanchaaAM@ipgg.sbras.ru

***Nina N. Nevedrova***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, D.Sc., Associate Professor, Chief Scientist. tel.: +7-913-890-26-45, e-mail: NevedrovaNN@ipgg.sbras.ru

***Sergey M. Babushkin***

Seismological branch of Geophysical Survey of the SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, deputy director of Seismological branch. tel.: (383)333-32-28, e-mail: bab@gs.sbras.ru

***Ilya O. Shaparenko***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, researcher, tel. +7-952-926-25-83, e-mail: ShaparenkoIO@ipgg.sbras.ru

***Aleksandr E. Shalaginov***

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, senior researcher, tel.: +7-913-788-91-31, e-mail: ShalaginovAE@ipgg.sbras.ru

The article presents the first results of the study of the Gorlovskaya depression in the area of coal deposits of the Novosibirsk region by methods of ground electrical prospecting using transient electromagnetic sounding and electrical tomography. Near-surface models were obtained to depths of 100 m, as well as deep geoelectric characteristics of the sedimentary filling of the depression and the eastern fault boundary.

**Key words:** Gorlovskaya depression, transient electromagnetic sounding, electrotomography, geoelectric structure, faults, earthquakes

### ***Введение***

В настоящее время Колывань-Томская складчатая зона и сопряжённые с ней структуры такие как Горловский прогиб относятся к недостаточно изученным районам Алтае-Саянской области. К Горловскому прогибу приурочены крупные угленосные месторождения России. В последнее время повысилась сейсмичность в восточной части Новосибирской области. Эпицентры землетрясений разных магнитуд, включая последние с магнитудами 4 и выше, сосредоточены севернее и восточнее г. Искитим в районах угледобывающих карьеров Горловского бассейна, в зонах пересечения активных разломов. В публикациях сейсмологов современную сейсмическую активизацию предположительно связывают с техногенными землетрясениями, обусловленными разработкой угольных месторождений [1].

В 2020 году сотрудниками ИНГГ СО РАН и СФ ЕГС РАН начаты работы по изучению геоэлектрического строения Горловского прогиба с целью получения характеристик разломных структур и выбора оптимальных участков для мониторинга за происходящими сейсмическими процессами. Для исследований выбран участок в Горловской впадине вблизи п. Харино (Рис. 1). Восточнее этого посёлка по данным ЕГС РАН наблюдается наибольшее число эпицентров землетрясений, происходящих в настоящее время.

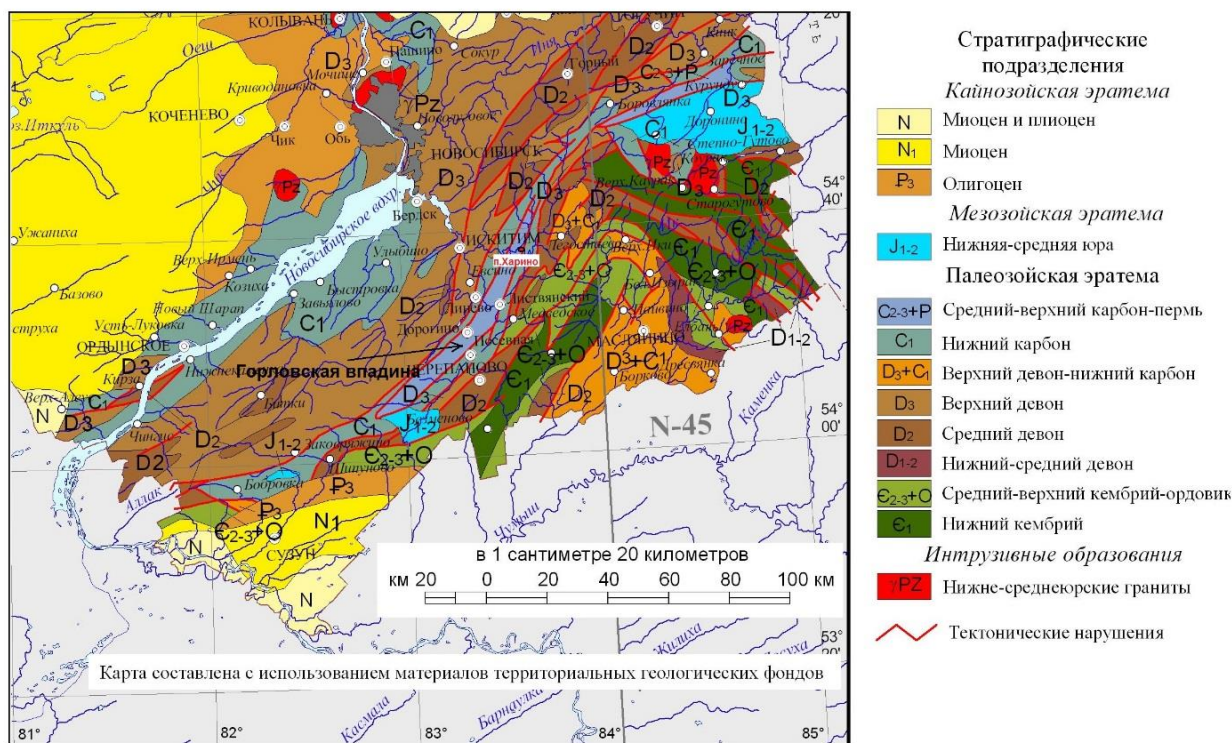


Рис. 1. Профили и пункты наблюдений методами ЗСБ и электротомографии на фрагменте геологической карты

### *Геологические данные.*

#### *Системы измерений электроразведки и полученные результаты*

Горловский прогиб расположен между северо-западной окраиной Салаира и Колывань-Томской складчатой зоной, развитие которых оказало огромное влияние на его структуру. Со стороны последней, оформившейся в герцинский период, происходили активные тектонические движения, а Салаирский кряж, как жесткая к этому времени консолидированная глыба, являлся упором. Это, несомненно, сказалось на конфигурации прогиба, вытянутого по простиранию с небольшой шириной. Для него характерна высокая напряженность тектонических деформаций. Сопряжение Горловского прогиба с соседними региональными геологическими структурами происходит по крупным разломам. В геологическом строении района принимают участие отложения верхнего девона, карбона и перми, перекрытые мощной корой выветривания мел-палеогенового возраста, а также рыхлыми отложениями неогенового и четвертичного возраста. Горловский угольный бассейн характеризуется крупнейшими в России запасами антрацита. Максимальная угленосность в Горловском прогибе приурочена к отложениям нижней перми, которые специалистами-геологами сопоставляются с аналогичными породами Кузбасса [2].

В 2020 г. в летний период на выбранном участке были проведены измерения методами наземной электроразведки. В качестве основного метода для восстановления глубинного строения были выбраны зондирования становлением поля (ЗСБ). Кроме того, в целях построения модели верхней части разреза использована электротомография (ЭТ).

Работы методом электротомографии осуществлялись с использованием современной многоэлектродной аппаратуры «СКАЛА 64К15», предназначенной для проведения электроразведочных работ методами сопротивлений и вызванной поляризации (ВП) в различных геологических условиях (рис. 2). В аппаратуре в едином корпусе совмещены 15 измерительных каналов и мощный источник, что позволяет существенно увеличить глубинность исследования. Управление производится с помощью смартфона, планшета или компьютера [3]. Измерения по двум профилям в направлении с юго-запада на северо-восток выполнены установкой Шлюмберже с шагом 5 м между электродами. Расстояние между профилями составляет 630 м, длина каждого из них - 315 м. Профили ЭТ расположены южнее измерений ЗСБ, вблизи выходов угленосных отложений. В результате обработки и интерпретации данных ЭТ были построены разрезы по профилям 1 и 2 с помощью программы Res2DInv [4].



Рис. 2. Аппаратура «Скала 64к15»

Наблюдается существенное отличие двух полученных разрезов, что обусловлено несколькими причинами (рис.3).

Следует отметить, что профиль 1 по абсолютной отметке расположен на 30 м выше профиля 2, что связано с небольшой складчатостью на поверхности. Кроме того, по карте рис.1 видно, что профили размещены в разных структурах. Профиль 1 находится в осадках впадины и на практически горизонтально-слоистом разрезе наблюдается верхний почвенный слой мощностью ~ 10 м, в восточной части которого видны высокоомные неоднородности. Глубже выделяется

проводящий слой мощностью 20-30 м, который подстилается горными породами с сопротивлением более 500 Ом·м.

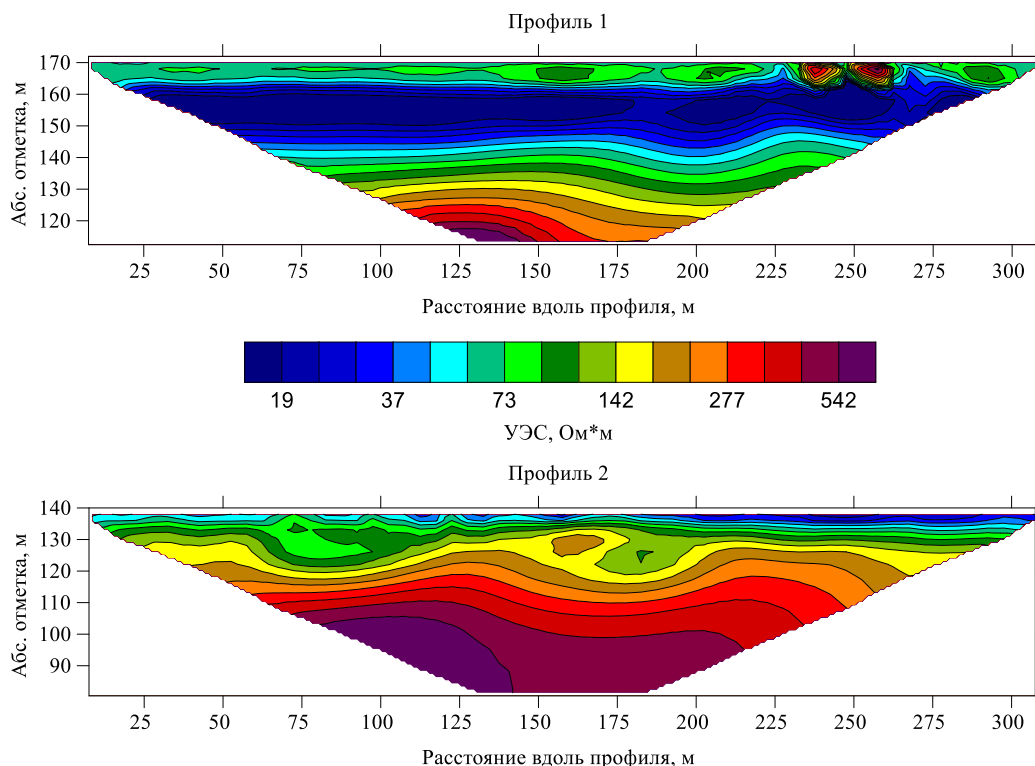
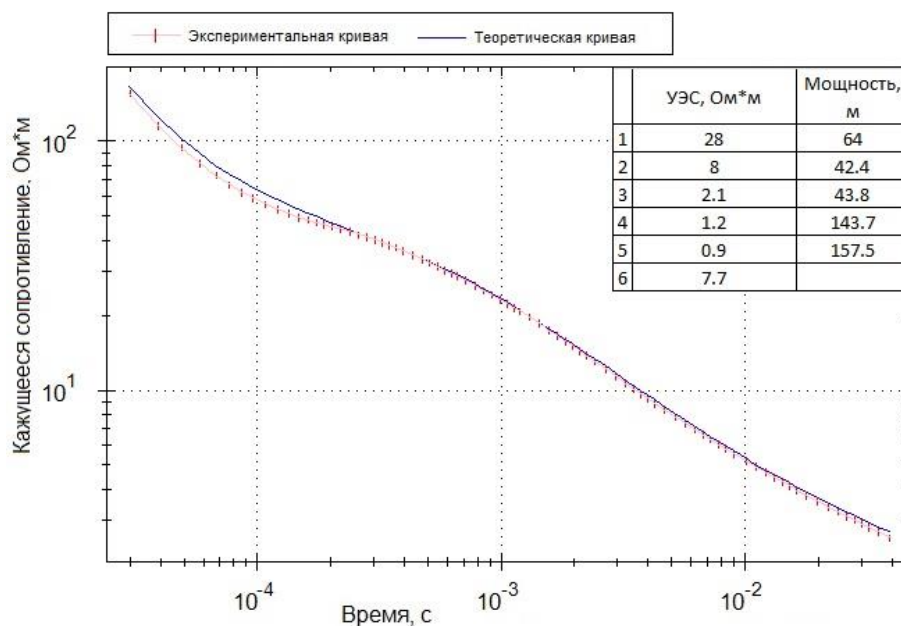


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы по профилям 1 и 2

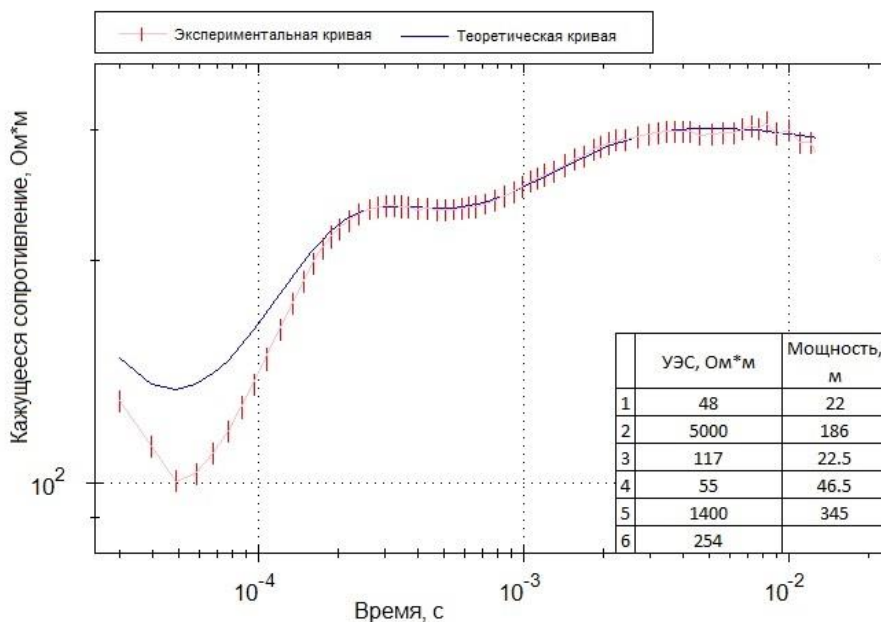
Разрез по профилю 2 включает верхний неоднородный горизонт неустойчивой мощности. В кровле опорного горизонта можно видеть выраженную складчатость. Профиль в северо-восточной части приближается к выходу угольных отложений. Глубинность полученных разрезов превышает 100 м.

**Зондирования становлением электромагнитного поля.** Работы методом ЗСБ выполнены с использованием цифровой аппаратуры «Цикл-7» соосными установками (Q, q). В качестве генераторной конструкции (Q) использовалась незаземленная петля квадратной формы со стороной равной 200 м. Измерения выполнялись с помощью незаземленной квадратной петли (q) со стороной в 100 м. Синхронизация генератора и приемника осуществляется по каналу GPS-сигнала. Процесс измерения включал запись не менее трех дублей переходного процесса на каждом уровне токов в генераторном контуре. Количество накопленных в каждом дубле составляло не менее 100. Погрешность регистрации переходного процесса в информативной области времен (0,01-500 мс) составила менее 5 %. При проведении опытных работ ток в генераторной петле был выбран на уровнях 3.0-3.5 А для измерения начальной стадии переходного процесса и на уровнях 20.0-22.0 А для поздней стадии переходного процесса. Измерение формы и амплитуды токовых импульсов проводилась цифровым регистратором, погрешность амплитуды токовых импульсов не более 1 %. Минимальная

амплитуда измеряемого сигнала составила 0.2 – 0.5 мкВ, что позволило достигнуть глубинности исследования в несколько сотен метров. Всего было выполнено 7 зондирований по профилю длиной ~ 5 км, по направлению с запада на восток от центральной части впадины к её восточному борту. Обработка и интерпретация данных осуществлялась с помощью программного комплекса моделирования и инверсии EMS [5]. Кривые  $\rho_t$  и модели для центральной и прибортовой части впадины принципиально различаются (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Кривые  $\rho_t$  и геоэлектрические модели; а - ЗС 6, б – ЗС 3

Данные ЗСБ 6 характеризуют низкоомный разрез до глубин в 400 м. соответствуют горизонтально-слоистой модели с верхним слоем до глубины 70-100 м и УЭС в 28 Ом·м и. Глубже наблюдается пачка слоев с аномально низкими сопротивлениями от 0.9 до 2.1 Ом·м с общей мощностью около 350 м. В восточной части профиля по данным ЗСБ 3 ситуация иная, разрез в целом более высокоомный. На самых ранних временах кривая искажена, для верхнего маломощного слоя получено УЭС в 48 Ом·м, что скорее всего, соответствует современным осадкам, глубже можно видеть чередование слоев с УЭС достигающим 1400 Ом·м. Основные параметры модели получены с погрешностью в 5 %. По результатам инверсии с использованием горизонтально-слоистой модели построен геоэлектрический разрез, отражающий строение впадины до глубин более 600 м (рис. 5). Профиль пересекает Горловскую впадину вкрест её простираения. В западной части в интервале пикетов 5-7 на глубинах 80-100 м прослеживается мощный трёхсотметровый горизонт со значениями УЭС от 0.3 до 2.6 Ом·м, по геологическим данным, скорей всего, соответствующий залежам с присутствием антрацита. В районе пикета 4 УЭС повышаются на 2 порядка и далее на восток по профилю в пикетах 2 и 3 сопротивление палеозойских горных пород начинают превышать 2000 Ом·м. Судя по разрезу, можно предполагать локальную зону разлома. Предположительная разломная зона как бы надвинута на проводящие отложения. Непосредственно зона разлома хорошо выделяется по изолинии УЭС в 100 Ом·м..

**Выводы.** Размеры генераторно-приёмной установки метода ЗСБ, геоэлектрические характеристики Горловской впадины не позволили достигнуть глубины до опорного горизонта (фундамента), но первое представление о разрезе непосредственно впадины получены. В интервале пикетов 5, 6, 7 ЗСБ околонушена низкоомная аномалия с понижением сопротивлений до долей Ом·м. Коллектив будет продолжать работы методами электроразведки, в Горловской впадине, скорректировав параметры установки.

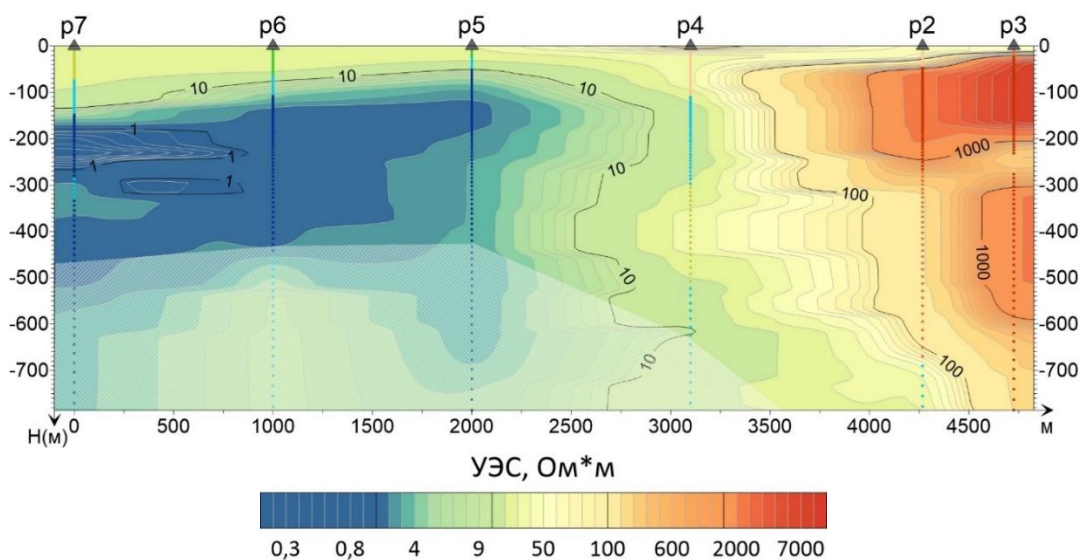


Рис. 5. Разрез по данным ЗСБ

*Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта ИНГГ СО РАН №0331-2019-0015.*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Emanov A.F., Emanov A.A., Pavlenko O.V., Fateev A.V., Kuprish O.V., Podkorytova V.G. Kolyvan Earthquake of January 9, 2019, with  $ML=4/3$  and induced seismicity features of the Gorlovsky coal basin // Seismic Instruments. – 2020. – V.56. – №3. – pp. 254–268.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 а000000. Серия Алтае-Саянская. Лист N-44-НовосибирскI. Объяснительная записка. Санкт-Петербург. ВСЕГЕИ. – 2015
3. Аппаратура Скала 64к15 [Электронный ресурс]. – <https://nemfis.ru/siber-64k15/>
4. Geotomo Software [Электронный ресурс]. – <http://geotomosoft.com/>
5. Хабинов О. Г., Власов А. А., Антонов Е. Ю. Система интерпретации данных площадных электромагнитных зондирований // ГЕО-Сибирь-2010. Недропользование. Горное дело. Новые направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых: матер. VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010». Т. 2. ч. 1. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 164–168.

#### REFERENCES

1. Emanov A.F., Emanov A.A., Pavlenko O.V., Fateev A.V., Kuprish O.V., and Podkorytova V.G. Kolyvan Earthquake of January 9, 2019, with  $ML=4/3$  and induced seismicity features of the Gorlovsky coal basin // Seismic Instruments. – 2020. – V.56. – №3. – pp. 254–268.
2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1 а000000. Seriya Altae-Sayanskaya. List N-44-NovosibirskI. Ob"yasnitel'naya zapiska. Sankt-Peterburg. VSEGEI. – 2015
3. Apparatura Skala 64k15 [Electronic resource]. – <https://nemfis.ru/siber-64k15/>
4. Geotomo Software [Electronic resource]. – <http://geotomosoft.com/>
5. Habinov O. G., Vlasov A. A., Antonov E. YU. Sistema interpretacii dannyh ploshchadnyh elektromagnitnyh zondirovanij // GEO-Sibir'-2010. Nedropol'zovanie. Gornoe delo. Noveye napravleniya i tekhnologiya poiska, razvedki i razrabotki mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh: mater. VI Mezhdunar. nauch. kongr. «GEO-Sibir'-2010». T. 2, ch. 1. – Novosibirsk: SGGA, 2010. – S. 164–168.

*© А. М. Санчаа, Н. Н. Неведрова, С. М. Бабушкин,  
И. О. Шапаренко, А. Е. Шалагинов, 2021*