

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ им. А.А. ТРОФИМУКА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



**Недропользование. Горное дело.
Направления и технологии поиска,
разведки и разработки месторождений
полезных ископаемых. Экономика.
Геоэкология.**

Материалы XVI международной научной конференции



Новосибирск

20-24 апреля, 2020

Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: Материалы XVI международной конференции (20-24 апреля 2020, Новосибирск) / Сетевое электронное издание. – Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука. –Новосибирск. 2020. xxx с.

ISBN 978-5-4262-0102-6

doi: 10.18303/B978-5-4262-0102-6-2020

Программный комитет:

Координаторы:

Ельцов Игорь Николаевич, д.т.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Кондратенко Андрей Сергеевич, ИГД СО РАН, г. Новосибирск

Конторович Алексей Эмильевич, академик РАН, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Неволько Александр Иванович, начальник департамента по недропользованию по Сибирскому федеральному округу Федерального агентства по недропользованию «Роснедра», г. Новосибирск

Эпов Михаил Иванович, академик РАН, ИНГГ СО РАН, СНИИГГиМС, г. Новосибирск

Сопредседатели:

Ельцов Игорь Николаевич, д.т.н. ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Каширцев Владимир Аркадьевич, чл.-корр. РАН, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Филимонова Ирина Викторовна, д.э.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

Секретари:

Комарова Анна Владимировна, к.э.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: KomarovaAV@ipgg.sbras.ru

Левичева Александра Викторовна, к.г.-м.н., СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: LevichevaAV@ipgg.sbras.ru

Сурикова Екатерина Сергеевна, к.г.-м.н., СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: SurikovaES@ipgg.sbras.ru

Чеботарева Анастасия Владимировна, ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: ChebotarevaAV@ipgg.sbras.ru

Шумскайте Мария Йоновна, к.т.н., ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск

e-mail: ShumskaitеMI@ipgg.sbras.ru

Адрес оргкомитета: Россия, 630090, г. Новосибирск, проспект ак. Коптюга, 3, ИНГГ СО РАН.

При поддержке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук

Самостоятельное неперiodическое локальное статичное научное сетевое электронное издание. Системные требования: наличие на устройстве ПО для просмотра PDF-файлов.

Статьи публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-4262-0102-6

© ИНГГ СО РАН, 2020

ИМПУЛЬСНЫЕ ИНДУКЦИОННЫЕ ЗОНДИРОВАНИЯ НА УЧАСТКЕ ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА «КРИСТАЛЛ»

Владимир Владимирович Потапов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр–т Ак. Коптюга, 3, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Забайкальский государственный университет, 672039, Россия, г. Чита, ул. Александро–Заводская, д.30, доцент, тел.: +7(383) 330–41–22, e–mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

Евгений Юрьевич Антонов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр–т Ак. Коптюга, 3, доктор физико–математических наук, доцент, главный научный сотрудник, тел.: +7(383) 333–28–16, e–mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

Александр Николаевич Шеин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр–т Ак. Коптюга, 3, кандидат физико–математических наук, старший научный сотрудник
Научный центр изучения Арктики, 629008, Тюменская область, Ямало–Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, д. 20, ведущий научный сотрудник
Забайкальский государственный университет, 672039, Россия, г. Чита, ул.Александро–Заводская, д.30, доцент, e–mail: SheinAN@ipgg.sbras.ru

Светлана Юрьевна Артамонова

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр–т Ак. Коптюга, 3, доктор геолого–минералогических наук, старший научный сотрудник, тел.: +7(383) 333–27–92, e–mail: artam@igm.nsc.ru

Николай Олегович Кожевников

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр–т Ак. Коптюга, 3, доктор геолого–менералогических наук, главный научный сотрудник, тел.: +7(383) 333–28–16, e–mail: KozhevnikovNO@ipgg.sbras.ru

В работе представлены результаты геофизических исследований методом зондирования становлением поля (ЗСБ) в районе мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл» в 2008 и 2019 гг. Описывается методика измерений и отличия сигналов в разные годы, связанные с шумовой обстановкой на участке работ. Геоэлектрические разрезы, построенные по результатам полевых исследований, иллюстрируют высокую информативность метода ЗСБ при изучении геологической среды в зоне влияния подземного ядерного взрыва «Кристалл».

Ключевые слова: метод зондирования становлением поля, геоэлектрический разрез, мирный промышленный ядерный взрыв, Якутия

PULSE INDUCTION SOUNDINGS IN THE AREA OF THE “CRYSTAL” UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION

Vladimir V. Potapov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., PhD, Senior Research Scientist
Transbaikal State University, 672039, Russia, Chita, 30, Aleksandro–Zavodskaya st., associate professor, phone: +7(383) 333–41–22, e-mail: PotapovVV@ipgg.sbras.ru

Evgeniy Yu. Antonov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Doctor of Physics–Mathematical Sciences, associate professor, Main Research Scientist, phone: +7(383) 333–28–16, e-mail: AntonovEY@ipgg.sbras.ru

Alexandr N. Shein

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., PhD, Research Scientist
Arctic Research Center of the Yamal–Nenets Autonomous District, 629008, Russia, Tyumen region, Yamal–Nenets Autonomous District, Salekhard, 20, Respubliki st., Research Scientist
Transbaikal State University, 672039, Russia, Chita, 30, Aleksandro–Zavodskaya st., associate professor, e-mail: SheinAN@ipgg.sbras.ru

Svetlana Yu. Artamonova

V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Akademik Koptyug Ave., Doctor of Science, Senior research scientist, phone: +7(383)333–27–92, e-mail: artam@igm.nsc.ru

Nickolay O. Kozhevnikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Doctor of Sciences, Main Research Scientist, phone: +7(383) 333–28–16, e-mail: KozhevnikovNO@ipgg.sbras.ru

The paper presents the results of geophysical studies using the method of transient electromagnetic field (TEM) in the area of the «Crystal» underground nuclear explosion in 2008 and 2019. The measurement technique and signal differences in different years related to the noise situation at the site of work are described in detail. Geoelectric sections constructed from the results of field studies show the high information content of the TEM method in the study of Yakutia and can be used to study the effect of the «Crystal» underground nuclear explosion on the geological environment.

Key words: transient electromagnetic method, geoelectric section, peaceful underground nuclear explosion, Yakutia

Введение

В 2008 г. на участке мирного подземного ядерного взрыва (ПЯВ) «Кристалл» были проведены геофизические исследования методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) [4]. Эти работы продемонстрировали информативность метода ЗСБ при изучении последствий воздействия ПЯВ на геологическую среду. Вместе с тем, поскольку эти работы,

с одной стороны, носили пионерский характер, а с другой, были проведены в ограниченном объеме, после их проведения стало ясно, что для обоснования оптимальной методики зондирований необходимы дополнительные исследования. Такие исследования на участке ПЯВ «Кристалл» проведены авторами в 2019 г. Целью этих исследований был изучение влияния ПЯВ на вмещающую геологическую среду и детализация строения геологической среды около объекта ПЯВ. В статье подробно описывается методика и техника измерений, а также отличие переходных характеристик, измеренных в 2008 и 2019 гг. По результатам съемок 2019 г. построены геоэлектрические разрезы, уточняющие представление о распределении удельного электрического сопротивления в массиве горных пород на участке ПЯВ «Кристалл».

Аппаратура для измерений и методика исследований

Полевые работы методом ЗСБ проводились по методике, которая является традиционной для Западной Якутии [3]. Измерения переходных характеристик на участках ПЯВ «Кристалл» выполнены симметричными установками «петля в петле». В этом случае точка записи совпадает с центром установки. Использовались квадратные петли. Размер генераторной петли при работах на участке «Кристалл» по основной схеме измерений составляли 100м×100м, размер приемной петли – 50м×50м. Размеры генераторной и измерительной петель были выбраны по аналогии с предыдущими работами методом ЗСБ на этом участке в 2008 году. Измерения переходных характеристик выполнены с помощью электроразведочной станции Fast–Snap [7, 9].

Для создания импульсов тока в генераторной петле использовался штатный генератор аппаратуры Fast–Snap. Он формирует разделенные паузами импульсы тока чередующейся полярности и амплитудой до 11 А. В зависимости от длительности переходного процесса период повторения импульсов может меняться от 20 мс до 1 с.

Питание генератора тока осуществлялось от 2 автомобильных аккумуляторов напряжением 12 В. Ток в генераторной петле составлял 0.3–10 А.

Начальное время регистрации $t_{\min}$ контролировалось, в первую очередь, временем выключения тока в генераторной петле и, в меньшей степени, геоэлектрическими свойствами верхней части разреза (ВЧР). В среднем время выключения тока составляло 20 мкс. Как известно [5], начальное время регистрации определяет минимальную глубину исследований. Сравнительные характеристики работ 2008 и 2019 года приведены в табл. 1.

Табл. 1. Сравнительные характеристики измерений методом ЗСБ на участке «Кристалл» в 2008 и 2019 году
Table 1. Comparative characteristics of TEM-measurements at the Crystal site in 2008 and 2019

	2008	2019
Название оборудования или его составляющих	SGS-TEM	Fast-Snap
Дискретизации измерений	31 мкс	25 нс, 100 нс, 800 нс, 6.4 мкс
Ток в генераторной петле	~ 7 А	от 0.2 А до 10 А
Размеры генераторных петель, м	100×100	100×100
Размеры измерительных петель, м	50×50	50×50
Начало регистрации мкс	150	5
Окончание регистрации мс	150	20–50
Кол-во измеренных кривых зондирований	15	108
Количество накоплений	1000	~1800 (в сумме для всех дискретизаций)
Амплитуда помехи, мВ	~2	~85

В 2008 году при измерениях на участке «Кристалл» уровень промышленных помех был низкий, и шумовая обстановка в целом была благоприятной, однако в 2019 уровень помех вырос более, чем на порядок (табл. 1).

Данные 2019 г. осложнены интенсивной периодической помехой промышленного происхождения с частотой 520 кГц. Амплитуда помехи изменяется в зависимости от времени, таким образом эта помеха является нестационарной. Скорее всего это связано с радиопереговорами, которые ведутся на несущей частоте 520кГц, или с изменением мощности работы передатчиков вблизи участка работ.

В связи с ухудшением шумовой обстановки ухудшилось и качество сигналов на поздних (более 10 мс) временах. В связи с этим, несмотря на то, что аппаратура Fast–Snap по сравнению с использовавшейся в 2008 г. является более современной, а ток в генераторной петле был немного выше, конечное время регистрации переходных процессов заметно уменьшилось.

В 2008 году сигналы ЗСБ были информативны до 120–150 мс, в 2019 году уверенный сигнал удавалось зарегистрировать только до времен 40–60 мс. Это понизило максимальную глубинность исследований. С другой стороны, благодаря тому что начальное время регистрации составляло 20 мкс, удалось более подробно изучить верхнюю часть разреза.

Основные измерения на участке ПЯВ «Кристалл» выполнены по двум взаимно–перпендикулярным профилям, проходящим через эпицентр (5qq) взрыва (рис. 1), также как и в 2008 году. Субмеридиональный длинный профиль 1 (1qq–9qq) ориентирован по азимуту 16°. Субширотный профиль 2 (11qq–17qq) состоит из двух участков – короткого (5qq, 16qq, 17qq) с азимутом 83° и более длинного (11qq–14qq) с азимутом 103°.

Предварительная обработка сигналов ЗСБ проводилась в специализированном программном комплексе «FastSnap Software», поставляемом совместно с аппаратурой FastSnap [8]. Этот программный комплекс обладает всеми необходимыми процедурами для получения конечных сигналов ЗСБ и включает в себя: суммирование сигналов от всех импульсов, сшивку данных от разных записей, нормировку данных на ток и момент генераторно–измерительного комплекса, фильтрацию, интерполяцию и др. Методика предварительной обработки описана в монографии разработчиков программного комплекса [6].

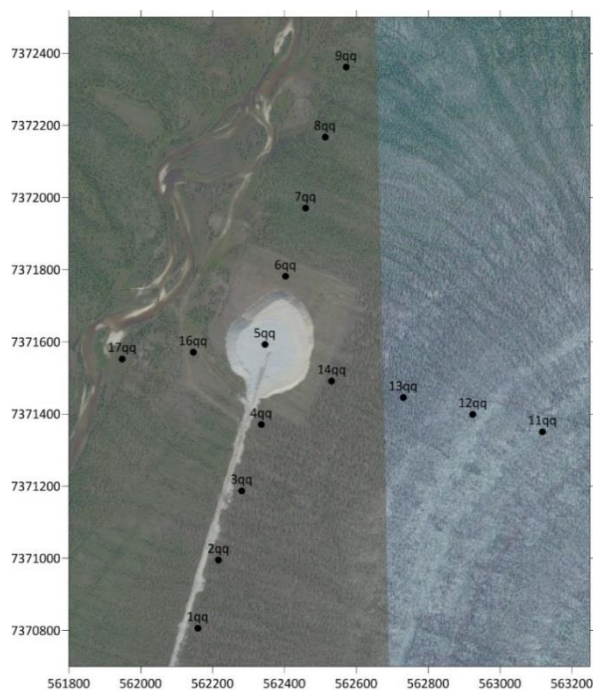


Рис. 1. Схема расположения центров измерительных петель для основных измерений на участке «Кристалл» в 2019 году (совпадает со схемой 2008 года).
(Система координат: UTM 49N)

Fig. 1. The scheme of the centers of the receiving loops for the measurements on the Crystal site in 2019 (coincides with the 2008 scheme). (Coordinate system: UTM 49N)

Анализ результатов

Пример сравнения результатов измерений в 2008 году и в 2019 году показаны на рис. 2, где приведены кривые кажущегося сопротивления для одновитковых петель 50×50 м для пикета ЗСБ 11 (11qq). Видно, что начало кривой 2008 года на временах 150 мкс, в то время как для кривых 2019 года оно на 5–10 мкс. Конечные времена измерений тоже отличаются, для 2008 года это 150 мс, а для 2019 года – 20–50 мс, что связано с большим увеличением уровня электромагнитных помех в 2019 году.

На рис. 2 видно, что измерения 2019 г. аппаратурой FastSnap, ориентированной для малоглубинных исследований, позволили выполнить более подробную запись переходных характеристик на ранних временах. В средней части (от 0.2 до 10 мс) кривые кажущегося сопротивления 2008 и 2019 гг. повторяют друг друга, причем относительное отклонение сигналов не

превышает 1%. Это позволило осуществить сшивку переходных характеристик, измеренных в 2008 и 2019 гг. В результате были получены достоверные данные в интервале от 20 мкс до 120 мс. Инверсия данных выполнялась с помощью программного комплекса «ТЕМ–IP», разработанного в ИНГГ СО РАН [1, 2].

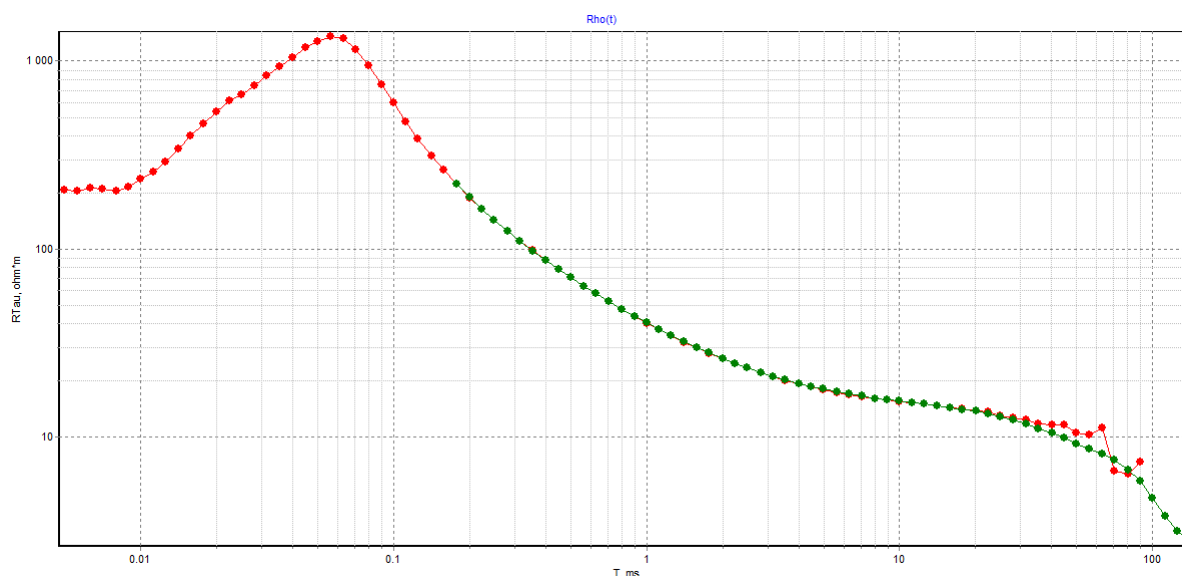


Рис. 2. Кривые кажущегося сопротивления, полученные при измерении одновитковой петлей 50×50 метров на пикете ЗСБ 11: красная – 2019 г., зеленая – 2008г.

Fig. 2. Apparent resistivity curves obtained when measuring with a single–turn loop of 50×50 meters on the piquet TEM 11: red – 2019, green – 2008

На рис. 3 представлены геоэлектрические разрезы, построенные по данным 2008 и совместным данным 2008/2019 гг. На обоих профилях четко выделяется верхний слой многолетнемерзлых пород, ниже идут проводящие слои, которые лучше расчленяются на разрезах 2008/2019 гг. Заметно изменилась модель на точке, соответствующей эпицентру взрыва (5qq), которая, благодаря более качественным измерениям, стала подобна моделям соседних точек, но более проводящей, предположительно из-за проникновения флюидов в разрушенные от взрыва породы.

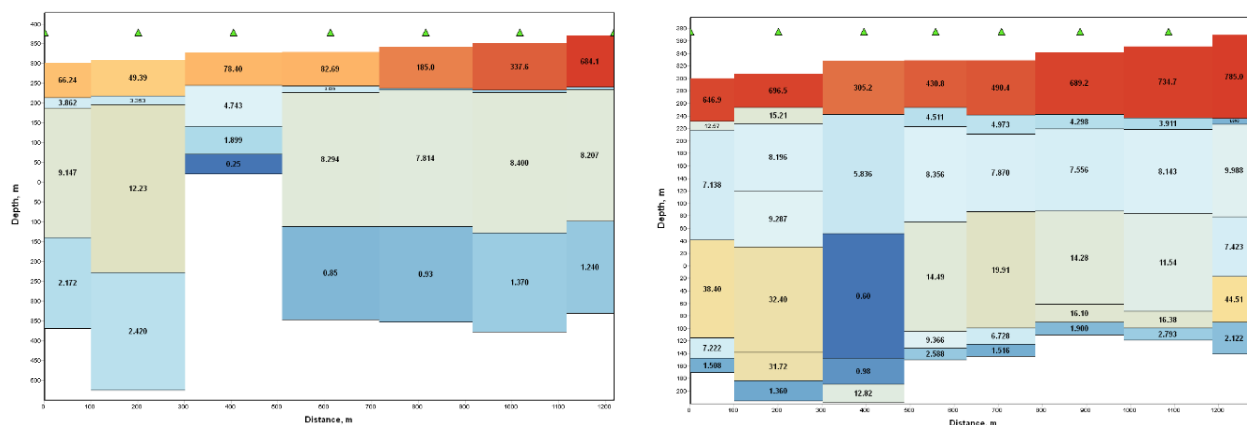


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы на участке «Кристалл» (профиль запад–восток): слева – 2008 год, справа – 2008/2019 гг.

Fig. 3. Goelectric sections in the «Crystal» site (west–east profile): on the left – 2008, on the right – 2008/2019

Выводы

Как показали проведенные работы, метод ЗСБ позволяет изучать геоэлектрический разрез и получать дополнительную информацию о геологической среде на участках, где проводились ПЯВ. Показано, что окрестности ПЯВ имеют более проводящие слои по сравнению с вмещающими породами, что связано, по мнению авторов, с проникновением флюидов в разрушенные взрывом пласты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18–45–140020, по государственному заданию ИГМ СО РАН, по государственному заказу № Ф.2019.473808 в рамках программы «Обеспечение экологической безопасности, рационального природопользования и развитие лесного хозяйства РС (Я) на 2018 – 2022 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А. Автоматизированная система для интерпретации данных индукционных импульсных электромагнитных зондирований с учётом индукционно–вызванной поляризации // Геология и геофизика. – 2014. – т. 55. – № 8. – С. 1282–1293.
2. Антонов Е.Ю., Кожевников Н.О., Корсаков М.А., Эпов М.И. Программа для ЭВМ «ТЕМ–IP» свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2018612347 от 15.02.2018.
3. Ванчугов В.А., Кожевников Н.О. Методика и результаты применения импульсной индуктивной электроразведки при изучении геоэлектрического строения Накынского кимберлитового поля (Западная Якутия) // Геология, поиски и разведка месторождений

рудных полезных ископаемых. Сб. научн. трудов. Вып. 22. – Иркутск: ИрГТУ, 1998. – С. 164–176.

4. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю., Артамонова С.Ю., Плотников А.Е. Геоэлектрический разрез в районе подземного ядерного взрыва «Кристалл» (Западная Якутия) по данным метода переходных процессов // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53. – № 2. – С. 237–249.

5. Кожевников Н.О., Плотников А.Е. Оценка возможностей метода переходных процессов при изучении верхней части геологического разреза // Геофизика. – 2004. – № 6. – С. 33 – 38.

6. Современная практическая электроразведка / Рос. Акад. Наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т земной коры. – Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2018. – 231 с.

7. Станция электроразведочная FastSnap. Руководство по эксплуатации. – Новосибирск–Иркутск: НПК «СибГеоСистемы», 2007. – 12 с.

8. Шарлов М.В. Интегрированная система обработки и инверсии данных нестационарных электромагнитных зондирований // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2017. – №2. – С. 24–35.

9. Шарлов М.В, Агафонов Ю.А., Стефаненко С.М. Современные телеметрические электроразведочные станции SGS–ТЕМ и FastSnap. Эффективность и опыт использования // Приборы и системы разведочной геофизики. Ежеквартальное официальное издание Саратовского от-ния Евро–Азиатского геофиз. о-ва. – 2010. – №01 (31). – С. 27–31.

REFERENCES

1. Antonov E.Ju., Kozhevnikov N.O., Korsakov M.A. Avtomatizirovannaja sistema dlja interpretacii dannyh indukcionnyh impul'snyh jelektromagnitnyh zondirovanij s uchjotom indukcionno–vyzvannoj poljarizacii // Geologija i geofizika. – 2014. – t. 55. – № 8. – S. 1282–1293.

2. Antonov E.Ju., Kozhevnikov N.O., Korsakov M.A., Jepov M.I. Programma dlja JeVM «ТЕМ–ІР» svidetel'stvo o registracii programmy dlja JeVM RUS 2018612347 ot 15.02.2018.

3. Vanchugov V.A., Kozhevnikov N.O. Metodika i rezul'taty primenenija impul'snoj induktivnoj jelektrozrazvedki pri izuchenii geoelektricheskogo stroenija Nakynskogo kimberlitovogo polja (Zapadnaja Jakutija) // Geologija, poiski i razvedka mestorozhdenij rudnyh poleznyh iskopaemyh. Sb. nauchn. trudov. Vyp. 22. – Irkutsk: IrGTU, 1998. – S. 164–176.

4. Kozhevnikov N.O., Antonov E.Y., Artamonova S.Y., Plotnikov A.E. The geoelectric structure at the site of «Crystal» underground nuclear explosion (Western Yakutia) from TEM data // Russian Geology and Geophysics. – 2012. – T. 53. – № 2. – С. 185–193

5. Kozhevnikov N.O., Plotnikov A.E. Ocenka vozmozhnostej metoda perehodnyh processov pri izuchenii verhnjej chasti geologicheskogo razreza // Geofizika. – 2004. – № 6. – S. 33–38.

6. Sovremennaja prakticheskaja jelektrozrazvedka / Ros. Akad. Nauk, Sib. Otd–nie, In–t zemnoj kory. – Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2018. – 231 s.

7. Stancija jelektrozrazvedochnaja FastSnap. Rukovodstvo po jekspluatácii. – Novosibirsk–Irkutsk: NPK «SibGeoSistemy», 2007. – 12 s.

8. Sharlov M.V. Integrirovannaja sistema obrabotki i inversii dannyh nestacionarnykh jelektromagnitnyh zondirovanij // Pribory i sistemy razvedochnoj geofiziki. – 2017. – №2. – S. 24–35.

9. Sharlov M.V, Agafonov Ju.A., Stefanenko S.M. Sovremennye telemetricheskie jelektrozrazvedochnye stancii SGS–ТЕМ i FastSnap. Jefferektivnost' i opyt ispol'zovanija // Pribory i sistemy razvedochnoj geofiziki. Ezhekvertal'noe oficial'noe izdanie Saratovskogo ot–nija Evro–Aziatskogo geofiz. o–va. – 2010. – №01 (31). – S. 27–31.