

29. Martem'janov I. V. Porogovye koncentracii kationov vo vneshnej srede, opredel'jajushhie granicy vyzhivaniya nitchatoj vodorosli Spirogira sp. v presnyh vodoemah [Threshold concentrations of cations in the environment, which determine the survival limits of filamentous alga Spirogira sp. in fresh water reservoirs] / I. V. Martem'janov, A. S. Mavrin // Sibirskij jekologicheskij zhurnal [Contemporary Problems of Ecology]. – 2012. – No. 3. – P. 345–350. [in Russian]

30. Barnard M. A. Utilizing *Spirogyra grevilleana* as a phytoremediatory agent for reduction of limnetic nutrients and *Escherichia coli* concentrations / M. A. Barnard, J. Porter W., S. B. Wilde // American journal of plant sciences. – 2017. – V. 8. – P. 1148–1158.

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.053>

Минаев А.В.,¹ Минаев В.В.,² Сутурин А.Н.²

¹ORCID: 0000-0003-1577-8440, ²ORCID: 0000-0001-9760-6057,

³ORCID: 000-0002-6805-5986, кандидат геолого-минералогических наук,

ИНЦ СО РАН, ЛИН СО РАН

ВЫЯВЛЕНИЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ЗОН СУБАКВАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (АКВАТОРИЯ ПОС. ЛИСТВЯНКА)

Аннотация

Проведены гидрогеофизические работы, на трех участках выбранных по данным электротомографии, выполненной по линии уреза пос. Листвянка в 2015 – 16 годах. В 2017 году выполнены профили электротомографии по дну акваториальной части пос. Листвянка вблизи трех выявленных ранее зон низких сопротивлений в урезовой части исследуемой территории. Рассмотрены данные электрометрических исследований водной среды акватории оз. Байкал в районе пос. Установлена изменчивость удельного электрического сопротивления (УЭС) в различных участках дна, позволяющая выявить зоны субаквальной разгрузки антропогенно загрязненных вод, а также определены зоны выхода естественных подземных вод с низкими значениями (УЭС) относительно воды оз. Байкал.

Ключевые слова: электротомография, удельное электрическое сопротивление, акватория оз. Байкал.

Minaev A.V.¹, Minaev V.V.², Sutturin A.N.³

¹ORCID: 0000-0003-1577-8440,

²ORCID: 0000-0001-9760-6057, ³ORCID: 000-0002-6805-5986, PhD in Geology and Mineralogy,

Irkutsk Scientific Center, The Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Limnological Institute, The Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

IDENTIFICATION OF SUBAQUATIC DISCHARGE ZONES OF GROUNDWATER (WATER AREA OF LISTVYANKA) BY ELECTRO-TOMOGRAPHY METHOD

Abstract

A hydrogeophysical work was carried out in three sections selected according to the data of electro-tomography, performed along the boundary line of the Listvyanka settlement in 2015-2016. In 2017, profiles of electro-tomography were made along the bottom of the aquatorial part of the Listvyanka settlement near three previously identified low resistance zones in the studied area. The data of electrometric researches of water environment of water area of Baikal Lake in the area of the village are considered. The variability of the specific electrical resistance (SER) in different parts of the bottom is established, which allows to identify zones of sub-aquatic discharge of anthropogenically polluted waters, and also the zones of natural groundwater outlet with low values of SER relative to the water of Baikal lake.

Keywords: electro-tomography, specific electric resistance, water area of the Baikal lake.

Одной из главных причин преобразования прибрежных экосистем в акватории байкальских городов и поселков, является поступление микробиологического и химического загрязнения с речными водами. Объем и степень загрязнения последних в поселках, не имеющих систем канализации, резко возрастает. В местах субаквальной разгрузки антропогенно загрязненных вод происходит замена поясов фитобентоса на сплошные заросли спирогиры. К этим зонам, приурочены участки "цветения" воды. Выявление таких зон, разграничение участков субаквальной разгрузки с антропогенным загрязнением и без него, возможно методами электрографии.

Данных об электропроводности воды по акватории оз. Байкал в литературе немного [1-10]. Получение подобной информации необходимо для решения ряда практических задач электротомографии и геоэкологии.

В работах [2], [4], [9] показана возможность использования электротомографии и измерения удельного электрического сопротивления УЭС (сопротивление электрическому току куба горной породы со стороной равной 1 метру, единица удельного сопротивления – Ом*м [1]) вод при геофизических, гидрологических исследованиях.

Цель проведенных гидрогеофизических исследований – определение характерных меток состояния экосистемы и выделение мест разгрузки подземных вод в акватории оз. Байкал в районе пос. Листвянка.

Экспериментальные исследования проводились методами электротомографии геофизической станцией «Скала 48» разработчик ИНГГ СО РАН со специально изготовленной модифицированной электроразведочной косой. Модификация электроразведочной косы заключается в возможности работы «косы» как по дну, так и по поверхности водоема, исключая попадание воды внутрь кабеля и как следствие, измерение значений удельного электрического сопротивления, не внутри кабеля, а снаружи на расстоянии пяти метров между разъемами для подключения электродов. Электроразведочная станция подключается не в середине между «косами», а с одного края, что обеспечивает ровную укладку профиля, но исключает работу по схеме «нагоняющего профиля». Траектория профиля и значения электрических сопротивлений показаны на (см. рис. 2–4). Предварительная обработка и инверсия данных томографии выполнялась с помощью программ «RiPPP» (ИНГГ СО РАН), «ERT Lab» и «Surfer». Ортофотоплан

построен с помощью квадрокоптера «Phantom 4» компании DJI. Съёмка проведена одним пролетом 30.08.2017 обработка проведена «ScanEx Image Processor».

Работы методом электротомографии в модификации двумерной установки выполнены по профилям (пр.1–9 см. рис. 1). Выполнение данной работы было бы невозможно при присутствии повышенной минерализации воды в оз. Байкал, которая бы выделила водную толщу как единую зону низких сопротивлений [8] (от 0 до 20 Ом*м). В акватории были отработаны три участка работ, они были выбраны на основе выполненных работ в 2015 г. и 2016 г. по урезовой части пос. Листвянка [9].

УЭС воды по данным электротомографии при измерениях у поверхности дна изменялось от 50 Ом*м до 100 Ом*м, что уже является нехарактерным для Байкала в виду минимальных значений УЭС 80 Ом*м, которые были выявлены сотрудниками Института физического материаловедения СО РАН [2].

Координаты базовых станций и краев измерительной электроразведочной косы (см. табл. 1). Траектории профилей получены с помощью установленного на лодке эхолота с Garmin EchoMAP 42dv.

Данные каждого профиля двумерной томографии были подвергнуты фильтрации и двумерной инверсии. Расположения всех двумерных разрезов представлены на рисунке 2, 3, 4. На рисунках изображены разрезы электрических сопротивлений грунтов и переходы зон низких и пониженных сопротивлений. Профили выполнены в пос. Листвянка непосредственно по акватории оз. Байкал.

По итогу работ 2015–2017 годов проведены геофизические работы методом электротомографии электроразведочной станцией «Скала» 48. Работы по электротомографии проведены как по урезовой части оз. Байкал в районе пос. Листвянка, так и непосредственно в самом озере. Работы по урезовой части позволяют выделить зоны низких сопротивлений, являющиеся транзитными коридорами для поступления как естественных минерализованных источников, так и антропогенных. Результаты гидрогеофизических наблюдений позволяют выделить как транзитные коридоры прохождения минерализованных вод, так и места выхода и распространения по дну или толще при диффузии с менее минерализованными водами в акватории озера. Проведенные геофизические работы в 2017 году позволили выделить зоны разгрузки подземных вод в оз. Байкал и картировать их на ортофотоплане по данным полученным с помощью квадрокоптера «Phantom 4».

Таблица 1 – Координаты базовых станций «Скала 48»

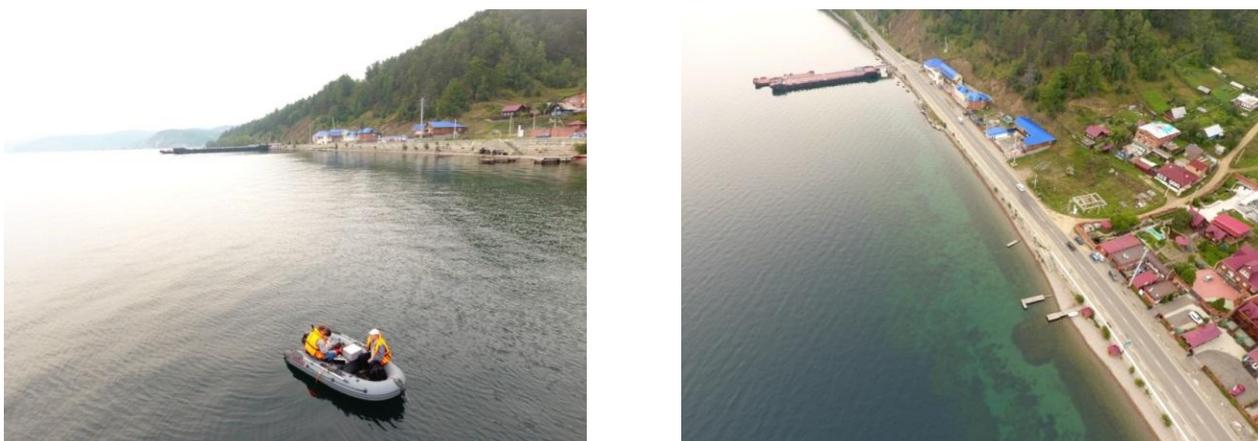
Широта	Долгота	Название профиля /номер точки
N51°51'53,60"	E104°50'32,81"	П1/Т1 станция
N51°51'50,11"	E104°50'29,94"	П1/Т2
N51°51'53,60"	E104°50'32,81"	П2/Т1 станция
N51°51'50,70"	E104°50'27,23"	П2/Т2
N51°51'51,83"	E104°50'28,43"	П3/Т1
N51°51'48,60"	E104°50'40,73"	П3/Т2 станция
N51°51'52,15"	E104°50'29,68"	П4/Т1
N51°51'48,75"	E104°50'41,61"	П4/Т2 станция
N51°51'53,27"	E104°50'30,92"	П9/Т1
N51°51'49,17"	E104°50'41,78"	П9/Т2 станция
N51°51'41,06"	E104°51'01,41"	Р5/Т1
N51°51'35,87"	E104°51'11,75"	Р5/Т2/ станция
N51°51'40,35"	E104°51'03,88"	Р8/Т1
N51°51'35,10"	E104°51'14,05"	Р8/Т2 /станция
N51°50'33,51"	E104°52'39,49"	П6/Т1
N51°50'39,33"	E104°52'31,15"	П6/Т2 станция
N51°50'32,12"	E104°52'40,98"	П7/Т1
N51°50'39,10"	E104°52'32,94"	Р7/Т2 станция

*Примечание: Т– точка, П– профиль

По полученным данным электротомографии были проведены водолазные работы по отбору проб в зонах низких сопротивлений с проведением последующих анализов химического и микробиологического состава. Этот малоинвазивный метод подводной электротомографии показал свою эффективность по изучению экологической обстановки на прибрежной зоне оз. Байкал, особенно при корреляции с данными томографии, проведенной в 2015–16 годах по урезовой части оз. Байкал в этом же районе [9] для обнаружения субаквальных выходов антропогенно загрязнённых вод в литоральной части озера.

В результате проведённых измерений УЭС получены геоэлектрические разрезы удельного электрического сопротивления, наглядно отображающие места выхода или накопления вод с более низкими УЭС относительно всех измеренных профилей (см. рис. 2–4). В дальнейшем конкретные зоны низких сопротивлений, выделенные с использованием электротомографии литоральной части водоёма, обследованы легкими водолазами–исследователями.

Водолазы провели отбор проб поровой и придонной воды для последующих аналитических, химических и микробиологических работ, в целях отслеживания текущего изменения химического состава воды, а также выполнения прогнозной оценки антропогенного воздействия, на качество поверхностных вод водоёма, биологические объекты и растительность в придонной зоне внутри водоёма.



а

б

Рис 1 – Выполнение работ на территории пос. Листвянка 19 августа 2017г. (а) вид с высоты 5 метров (б) вид с высоты 75 метров с квадрокоптера Phantom 4 на участок работ №1

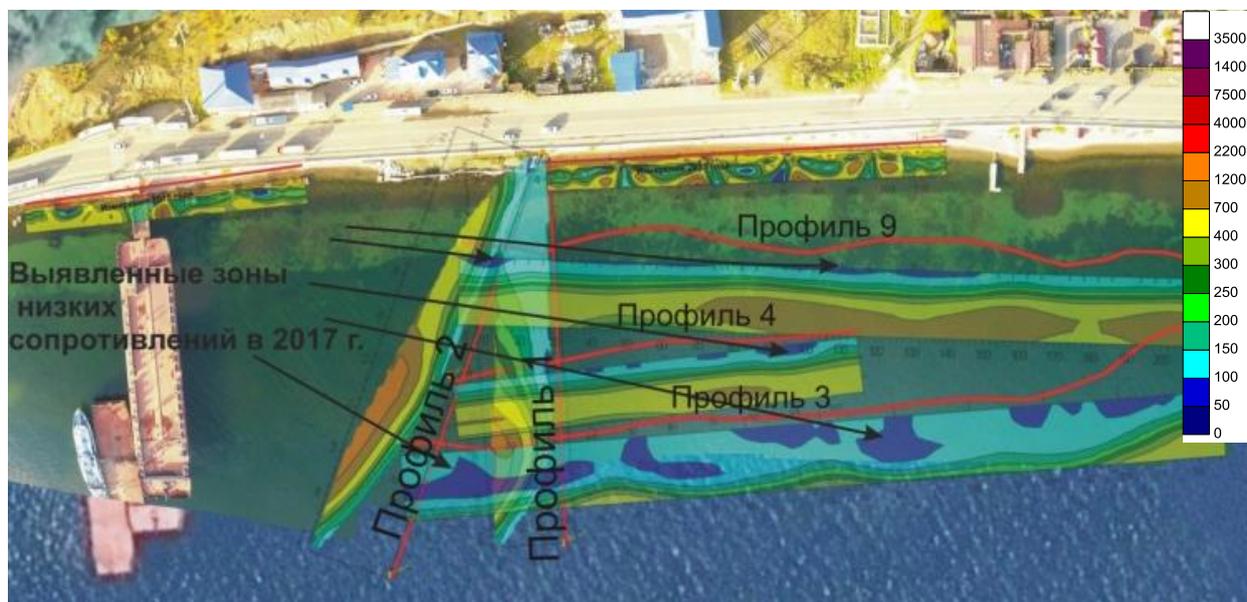


Рис. 2 – Участок №1. Профили электротомографии выполнение по дну в 2017 г. и профили выполнение по урезу в 2016 г.

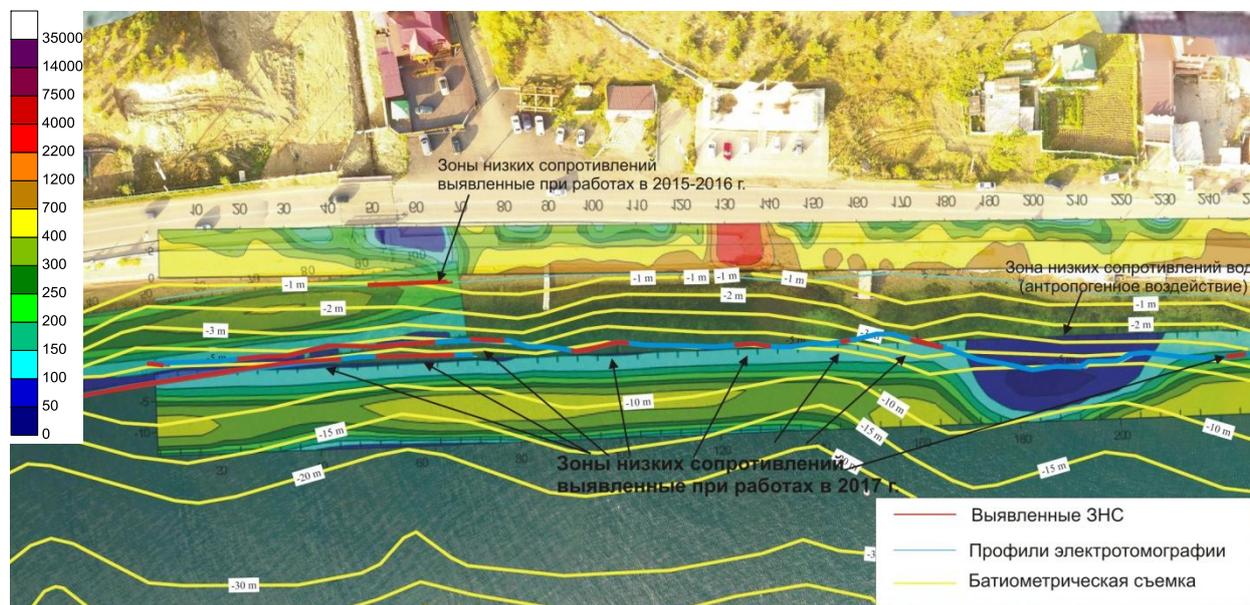


Рис. 3 – Участок №2. Профили электротомографии выполнение по дну в 2017 г. и профили выполнения по урезу в 2016 г.

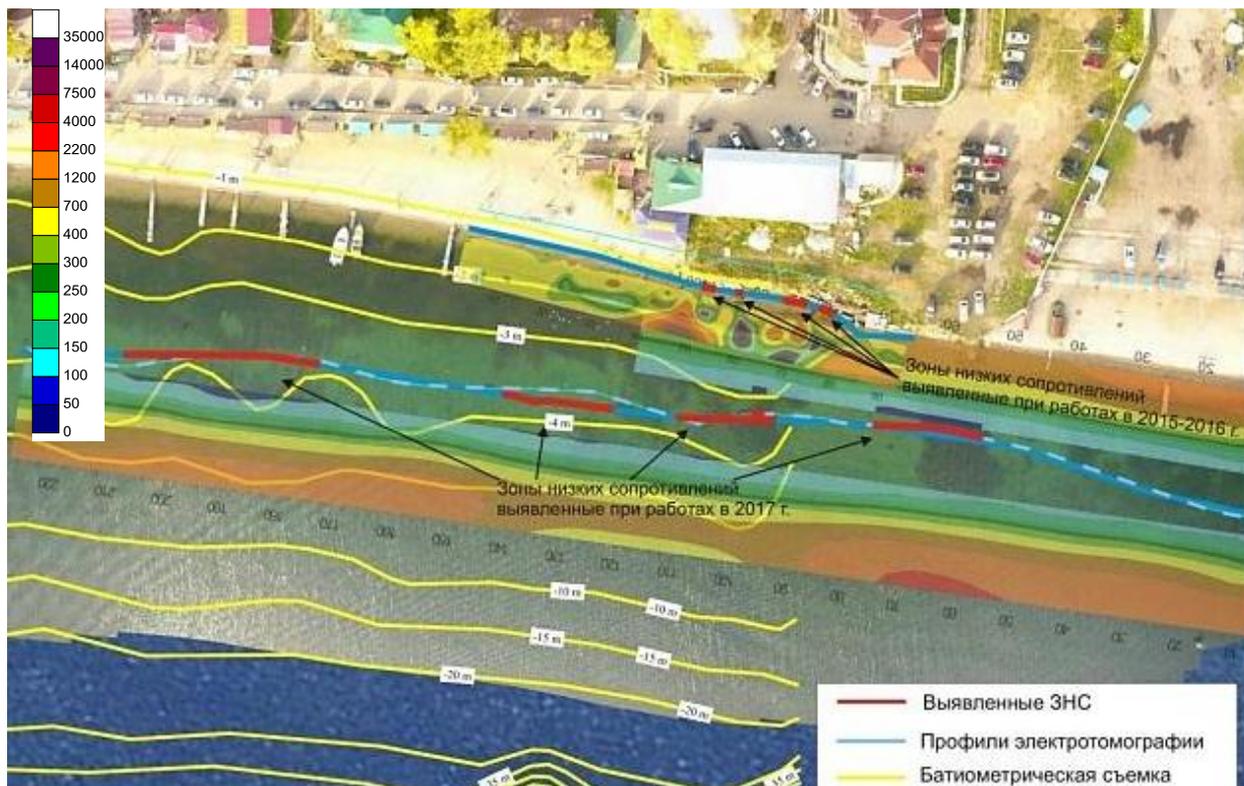


Рис. 4 – Участок №3. Профили электротомографии выполнение по дну в 2017 г. и профили выполнения по урезу в 2016 г.

Заключение

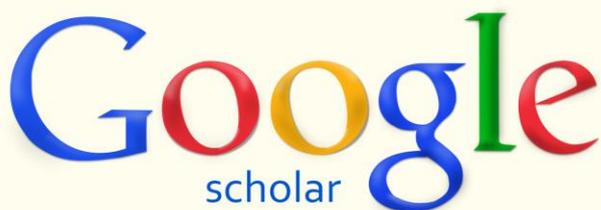
На примере акватории поселка Листвянка (Южный Байкал) показана эффективность выявления на профилях электрографии, выполненных по дну, участков зон низких сопротивлений, которые с помощью водолазов идентифицируются как зоны субаквальной разгрузки антропогенно загрязненных вод.

Список литературы

1. Вольвонский Б.С. Краткий справочник по полевой геофизике / Б.С. Вольвонский, Н.Я. Кунин, Е. И. Терехин // Москва: «Недра», 1977. 391 с.
2. Башкуев Ю. Б. Результаты электрометрических исследований водной среды реки Селенги, ее притоков и акватории озера Байкал / Ю. Б. Башкуев, В. Б. Хаптанов, М. Г. Дембелов, Д. Г. Буянова, Л. Х. Ангархаева // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева – 2013 – №5(51) стр. 146–149.
3. Башкуев Ю. Б. Электрические свойства природных слоистых сред / Ю. Б. Башкуев ; Отв. ред. Ю. Л. Ломухин // Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Бурят. ин-т естеств. наук 207 с. Новосибирск: Издательство Сиб. отделения Российской академии наук 1996–1996
4. Башкуев Ю.Б. Электромагнитные характеристики акватории оз. Байкал / Ю.Б. Башкуев, В.Р. Адвокатов, В.Б. Хаптанов, Д.Г. Буянова, Л.Х. Ангархаева // Геология и геофизика. – 1993. – №9. – С. 118–126.
5. Ершова М. Г. Электропроводность и плотность пресных вод. В кн.: Гидрология озер и водохранилищ Ч. 2. / М. Г. Ершова, И. М. Кисин, К. К. Эдельштейн // - Моск. ун-т, 1975, с. 82–88.
6. Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Комаров // Ленинград: Ленинградское отделение: издательство «Недра», 1980. 391 с.
7. Манштейн Ю. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения [Электронный ресурс] / Е. В. Балков, Г. Л. Панин, Ю. А. Манштейн, А. К. Манштейн, В. А. Белобородов // – Режим доступа: <http://www.nemfis.ru/etom.pdf>
8. Проведение инженерных изысканий в целях разработки концепции и подготовки проектной документации для реализации мероприятий по ликвидации негативного воздействия на окружающую среду отходов, накопленных в результате деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) : Технический отчет № 5 Инженерно-экологические изыскания Книга 2, главы 7-13: Отчет ЛИН СО РАН по договору с ООО «Сибгипробум»/ ЛИН СО РАН Рук. М.А. Грачев; исп. А.В. Минаев [и др.]: 2013. – 128 с.
9. Сутурин А. Н. Роль антропогенных факторов в развитии экологического стресса в литорали озера Байкал (акватория пос. Листвянка) / А. Н. Сутурин, Е. П. Чебыкин, В. В. Мальник, И. В. Ханаев, А. В. Минаев В. В. Минаев // География и природные ресурсы – 2016 - № .6- С. 43–54.
10. Шауб Ю. Б. Кондуктометрия / Ю. Б. Шауб // Рос. акад. наук, Дальневост. отделение, Тихоокеан. океанол. ин-т, 488 с; Владивосток Дальнаука 1996.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Vol'vonskij B.S. Kratkij spravocnik po polevoj geofizike [Brief Reference Book on Field Geophysics] / B.S. Vol'vonskij, N.Ja. Kunin, E. I. Terehin // Moskva: «Nedra», 1977. – 391 p. [in Russian]
2. Bashkuev Ju. B. Rezul'taty jelektrometricheskikh issledovanij vodnoj sredy reki Selengi, ee pritokov i akvatorii ozera Bajkal [Results of Electrometric Studies of Water Environment of Selenga River, Its Tributaries and Water Area of Baikal Lake] / Ju. B. Bashkuev, V. B. Haptanov, M. G. Dembelov, D. G. Bujanova, L. H. Angarhaeva // Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev – 2013 –No.5(51) P. 146–149. [in Russian]
3. Bashkuev Ju. B. Jelektricheskie svojstva prirodnyh sloistyh sred [Electrical Properties of Natural Layered Media] / Ju. B. Bashkuev ; edited by Ju. L. Lomuhin // Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Buryat Institute of Natural Sciences. – Novosibirsk: Izdatel'stvo Sib. otdelenija Rossijskoj akademii nauk. –1996. – 207 p. [in Russian]
4. Bashkuev Ju.B. Jelektromagnitnye harakteristiki akvatorii oz. Bajkal [Electromagnetic Characteristics of Water Area of Baikal Lake] / Ju.B. Bashkuev, V.R. Advokatov, V.B. Haptanov, D.G. Bujanova, L.H. Angarhaeva // Geology and Geophysics. – 1993. – No.9. – P. 118–126. [in Russian]
5. Ershova M. G. Jelektroprovodnost' i plotnost' presnyh vod. V kn.: Gidrologija ozer i vodohranilishh Ch. 2. [Electrical Conductivity and Density of Fresh Water. In Book: Hydrology of Lakes and Reservoirs. Part 2.] / M. G. Ershova, I. M. Kisin, K. K. Jedelyptejn. – Mosk. un-t, 1975, P. 82–88. [in Russian]
6. Komarov V.A. Jelektrozrazvedka metodom vyzvannoj poljarizacii. 2-e izd., pererab. i dop [Electrical Exploration by Induced Polarization. 2nd ed., Revised and Edited]. / V.A. Komarov. – Leningrad: Leningradskoe otdelenie: izdatel'stvo «Nedra», 1980. – 391 p. [in Russian]
7. Manshtejn Ju. A. Jelektrotomografija: apparatura, metodika i opyt primenenija [Electromotography: Apparatus, Methods and Experience of Application] [Electronic resource] / E. V. Balkov, G. L. Panin, Ju. A. Manshtejn, A. K. Manshtejn, V. A. Beloborodov // – Reference date: <http://www.nemfis.ru/etom.pdf> [in Russian]
8. Provedenie inzhenernyh izyskanij v celjah razrabotki koncepcii i podgotovki proektnoj dokumentacii dlja realizacii meroprijatij po likvidacii negativnogo vozdejstvija na okruzhajushhiju sredu othodov, nakoplenykh v rezul'tate dejatel'nosti Bajkal'skogo celljulozno-bumazhnogo kombinata (BCBK) [Carrying out Engineering Surveys to Develop Concept and Prepare Project Documentation for Implementation of Measures to Eliminate Negative Impact on Environment of Waste Generated by Activities of Baikal Pulp and Paper Mill (BPPM)]; Report No. 5 Inzhenerno-jekologicheskie izyskanija [Engineering and Environmental Research] Book 2, p 7-13: Report of LIN SO RAN under the contract with LLC «Sibgiprobum»/ LIN SB of RAS Supervisor M.A. Grachev; executor A.V. Minaev [et al]: 2013. – 128 p. [in Russian]
9. Suturin A. N. Rol' antropogennyh faktorov v razvitii jekologicheskogo stressa v litorali ozera Bajkal (akvatorija pos. Listvjanka) [Role of Anthropogenic Factors in Development of Ecological Stress in Littoral of Lake Baikal (Water Area of Listvyanka)] / A. N. Suturin, E. P. Chebykin, V. V. Mal'nik, I. V. Hanaev, A. V. Minaev V. V. Minaev // Geography and Natural Resources – 2016 – No. 6. – P. 43–54. [in Russian]
10. Shaub Ju. B. Konduktometrija [Conductometry] / Ju. B. Shaub. – Ros. akad. nauk, Dal'nevost. otdelenie, Tihookean. okeanol. in-t. – Vladivostok Dal'nauka. – 1996. – 488 p. [in Russian]



*Международный научно-исследовательский журнал включен в базу научного цитирования **Google Scholar**.*

***Google Scholar** – поисковая система по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин. Наличие статей в **Google Scholar** увеличивает возможность цитируемости, не только в России, но и за рубежом.*