

21

глубинной, региональной, разведочной, инженерной геофизики [13, 16, 18, 20]. Многочисленные исследования в Волго-Уральском нефтеносном регионе (М.Я. Боровский, Э.К. Швыдкий [2, 4, 20]) показали, что при выявлении очагов загрязнения и засоления пресных подземных вод и почвогрунтов весьма эффективны методы электроразведки.

Объекты исследований

Площадь исследований занимает около 1100 км² на юго-востоке РТ. На рис. 1 представлена обзорная схема и границы территории исследований. Точки измерений метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) равномерно расположены по территории с шагом около 300 м. Целью выполненных работ являлся детальный гидрогеохимический мониторинг состояния и состава водоносных горизонтов верхней части геологического разреза юго-восточной части территории РТ.

На исследуемой площади водоносные горизонты приурочены как к терригенным, так и карбонатным породам [9, 19]. Карбонатные породы занимают небольшую долю в суммарной мощности исследуемой части разреза, однако, обладая высокой трещинной (реже — трещинно-кавернозной) пористостью на ряде участков, они являются хорошими резервуарами воды. Практически все достаточно протяженные пласты известняков в районе являются водоносными горизонтами. Удельное электрическое сопротивление (УЭС) карбонатных пород изменяется от тысяч до первых ом-м [17]. Плотные, неразрушенные известняки обычно имеют УЭС в сотни и первые тысячи ом-м, трещиноватые разности ($K_n = 10\text{--}25\%$) при минерализации насыщающих вод менее 1 г/л имеют

УЭС около 100 ом-м и более, при минерализации более 15 г/л их УЭС уменьшается до 10 ом-м и ниже. В районе исследований, на глубинах ниже 80–100 м, практически не отмечаются пласты плотных известняков и доломитов, они, как правило, выветрены, трещиноваты, иногда закарстованы. По результатам количественной интерпретации, УЭС таких известняков не превышает 200–300 ом-м.

Верхняя часть геологического разреза изучаемой территории (более 90% мощности) складывается песчано-глинистыми породами, коллекторские свойства и глинистость которых изменяются в широких пределах. Пористость слабоагглюнизированных песчаников достигает 2–30% (песчаники верхнеуфимского подъяруса и отдельные пласты песчаников верхнеказанского подъяруса). Максимальная УЭС песчано-глинистых отложений составляет 100–120 ом-м и в значительной степени зависит от минерализации поровых вод. При насыщении пород пресными водами, УЭС песчаных пород достигает величин 100–300 ом-м и значительно превышает УЭС глинистых разностей. При увеличении минерализации до 1–2 г/л УЭС песчано-глинистых толщ практически не зависит от литологического состава, а определяется только пористостью и сцементированностью пород. При большой минерализации вод УЭС песчаных разностей становится меньше УЭС глин. Принимая во внимание процессы диффузии солей в толщах глин в зонах засоления, картина изменения УЭС в породах района становится чрезвычайно сложной.

Определение минерализации подземных вод, по данным ВЭЗ

Непосредственно определить параметры

минерализации подземных вод по данным электроразведки ВЭЗ невозможно [15, 17]. УЭС в терригенных разрезах зависит от наличия в исследуемых породах трех фаз вещества: твердой, жидкой и газообразной. Твердая фаза, в свою очередь, может быть разделена на глинистую ($d < 0,01$ мм) и скелетную компоненты. Скелетная компонента является непроводящей ($U_{\Sigma} > 104$ ом-м), а глинистая компонента, за счет огромной удельной поверхности, обладает значительной поверхностной проводимостью (~101 ом-м).

Газообразная фаза (воздух, инертные и углеводородные газы) является диэлектриком и не участвует в электропроводности. Наиболее хорошо проводит электрический ток жидкая фаза, представляющая в исследуемых породах минерализованную воду (электролит). УЭС электролитов описывается следующей формулой [11]:

$$P_k = 10 / (\Sigma (C_a \cdot V_a \cdot f_a + C_k \cdot V_k \cdot f_k)) \quad (1)$$

где: C_a и C_k — число грамм-эквивалентов анионов и катионов, V_a и V_k — подвижность анионов и катионов, f_a и f_k — коэффициенты, зависящие от концентрации и состава солей.

На рис. 2 [11] приведены зависимости УЭС электролитов различного состава от концентрации. При концентрации около 0,01 г/л сопротивление растворов изменяется в пределах 500–1000 ом-м, при концентрации около 1,0 г/л, УЭС составляет около 10 ом-м и ниже. Можно констатировать, что при минерализации $C < 0,1$ г/л (ультрапресные воды), УЭС насыщающих вод практически не оказывает влияние на УЭС горных пород. При минерализации $C > 5\text{--}10$ г/л УЭС поровых вод полностью определяет УЭС пород, даже при малых величинах пористости.

Необходимо также отметить, что растворы хлоридов обладают большими проводимостями, нежели растворы сульфатов и, в особенности, гидрокарбонатов (рис. 2). Обнаруживаемое различие (более чем в 2 раза) может иметь значение при геофизических исследованиях в тех случаях, когда в разрезах встречаются воды принципиально различающегося состава.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования [8, 10, 11] позволили установить, что УЭС (p) пористых и трещиноватых пород имеют зависимость от минерализации насыщающих вод вида:

$$\lg p = \lg a - B \cdot \lg C \quad (2)$$

где C — минерализация поровых вод, a — коэффициент, варьирующий от 0,4 до 1,4 в зависимости от литологии, коэффициент $B \sim 1$ — для неглинистых пород.

Совершенно очевидно, что расчет минерализации, по данным количественной интерпретации данных ВЭЗ, в общем случае невозможен, так как УЭС пород зависит как от литологических параметров (пористость, форма и размеры пор, глинистость и др.), так и от минерализации. На локальных участках, где литологические параметры изменяются слабо, можно проводить оценки минерализации по УЭС с учетом постоянства параметра пористости. Еще одна проблема возникает в связи с тем, что при количественной интерпретации данных ВЭЗ, выделяемые геоэлектрические комплексы могут не совпадать с гидрогеологическими. Например, один геоэлектрический слой может включать в себя пачку трещиноватых известняков, насыщенных минерализованной водой и глин, имеющих одинаковое УЭС.

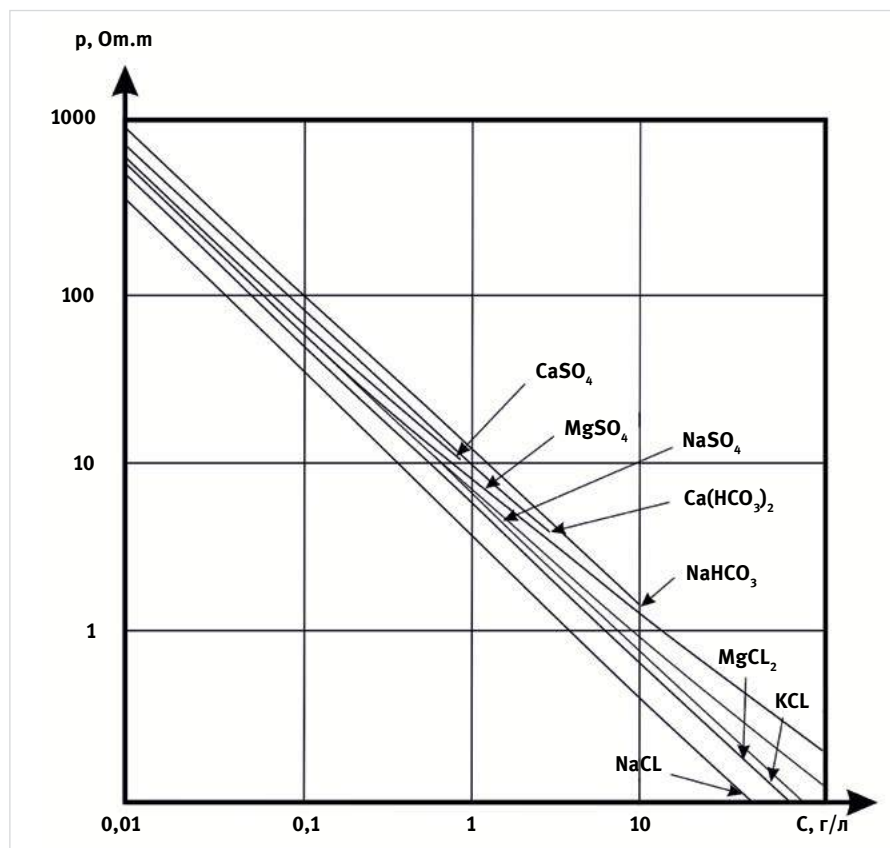


Рис. 2 — Зависимость УЭС различных растворов от степени их минерализации (В.Н. Дахнов)

Fig. 2 — The dependence of the specific electric resistance of different liquids from the salinity (V.N. Dakhnov)

Принципиальная возможность оценки минерализации подземных вод, в особенности ее изменения возможны при повторных наблюдениях на одних и тех же точках, где наблюдаются реальные изменения, минерализации. В этом случае, когда опорные опробуемые водопункты и данные ВЭЗ относятся к одним и тем же водоносным горизонтам, удастся определить степень минерализации по результатам повторных измерений ВЭЗ. Следует отметить, что точность определения минерализации, по данным ВЭЗ, на опорных точках составляет 1–5%, во втором случае (по точкам с известным геологическим строением) составляет ~20%, а в третьем случае (по точкам с полным отсутствием информации) может быть ниже 50%.

Результаты расчета зависимостей минерализации подземных вод на опорных и рядовых точках наблюдений методом ВЭЗ

Все кривые ВЭЗ были подвергнуты количественной интерпретации по методике, описанной выше [6, 17]. Было выделено 37 точек, в которых располагались пункты водоотбора и в которых была известна минерализация по трем

климатическим сезонам. Эти опорные точки ВЭЗ позволили построить базовые зависимости УЭС водоносных горизонтов от степени их минерализации для всей исследуемой территории (рис. 3).

Используя логарифмическую зависимость УЭС от минерализации (2), по данным сезонных наблюдений, получали для каждой точки ВЭЗ систему из трех уравнений (2), решение которой позволяло рассчитать коэффициенты a и B в опорных точках. В остальных точках, где неизвестна минерализация и геологическое строение, была проведена интерполяция коэффициентов. В результате, полученный набор коэффициентов позволяет произвести расчет минерализации подземных вод во всех точках геофизического мониторинга по наборам кривых ВЭЗ сезонных наблюдений.

С целью анализа динамики изменения минерализации, определения степени защищенности подземных вод «сверху» и «снизу» были построены карты рассчитанных значений средних минерализаций по трем сезонам (рис. 4, 5). Цветовая шкала показывает общую картину изменения минерализации подземных вод; в точках ВЭЗ указаны рассчитанные

значения минерализации в десятичном формате. Большая густота точек ВЭЗ позволяет увидеть детальную картину изменения минерализации подземных вод исследуемой территории. В южной области выделяются три крупные аномалии минерализации. Самая крупная из них (1) — юго-восточная аномалия между структурными скв. №2 и №15. Эта аномалия подсечена только одной точкой стационарного гидромониторинга, то есть, необходимо либо ее проверить в других водопунктах, либо провести бурение экологической скважины. Геоморфологически аномалия приурочена к долине реки Мелля. В структурном плане, по кровле верхнепермских лингуловых глин, данная территория приурочена к северному борту локального поднятия. Другое поднятие, также являющееся зоной питания данной аномалии, располагается несколько севернее, в области скв. №29. Здесь абсолютные отметки кровли лингуловых глин также достигают +150 м. В области между упомянутыми скв. №29 и скв. №2, метод ВЭЗ, из-за большой глубины залегания основных водоносных горизонтов, не может дать надежную информацию. Однако можно предположить, что аномалия 2 (рис. 4) также имеет область питания вблизи указанных структур. Аномалия минерализации 3 (рис. 4) также располагается на склоне структуры, выделяемой по кровле лингуловых глин (скв. №36, 38, 39). Это поднятие по кровле лингуловых глин имеет абсолютные отметки +135 м и более.

Аномалия минерализации 4 (рис. 4) приурочена к юго-восточному склону поднятия (по кровле лингуловых глин) с центром в районе скв. №18 с абсолютными отметками купола +160 м. Разгрузка подземных вод идет на юго-восток по направлению к скв. №21. На участке понижения рельефа в районе скв. №24 наблюдается продолжение этой аномалии. Под номером 5 выделяется продолжение той же аномалии на запад. Эта аномалия располагается вблизи скв. №5 и подтверждается измерениями на точках ВЭЗ № 201, 202, 203 и 204.

Таким образом, наблюдения методом ВЭЗ позволяют выявить общую структуру изменчивости минерализации подземных вод на территории и ее связь со строением района, в частности, с морфологией земной поверхности и поверхностью лингуловых глин.

Картина пространственной изменчивости минерализации подземных вод в верхних 50–100 м разреза принципиально не изменяется при повторных измерениях во втором сезоне (рис. 5).

Можно отметить только следующие закономерности:

- Общая площадь участков повышенной (>1 г/л) минерализации растет в течение года от первого сезона до третьего сезона;
- На ряде участков в течение года уменьшается величина аномальной минерализации, например, исчезают: аномалия 5, юго-восточное продолжение аномалии 4, аномалия 2, северо-западное продолжение аномалии 3;
- Изменяется локальная структура ряда аномальных зон: в аномалии 1 идет перераспределение минерализации между южной и северной зонами; аномалии 2 и 3 объединяются; аномалия 4 расширяется на восток.

С целью анализа изменения минерализации по сезонам была построена карта разности минерализации по второму и первому сезонам (рис. 6).

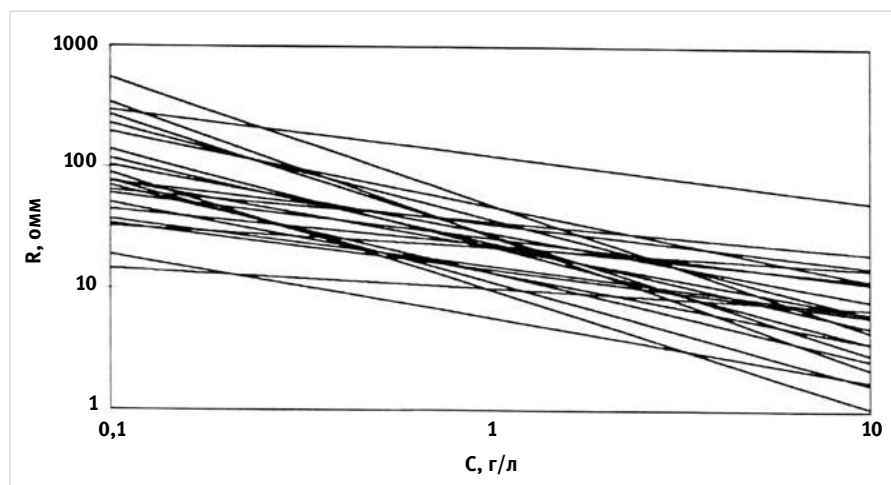


Рис. 3 — Базовые зависимости УЭС (R) от степени их минерализации (C) для опорных точек ВЭЗ

Fig. 3 — The basic dependences of the specific electric resistance (R) from their salinity (C) for datum points of the VES survey

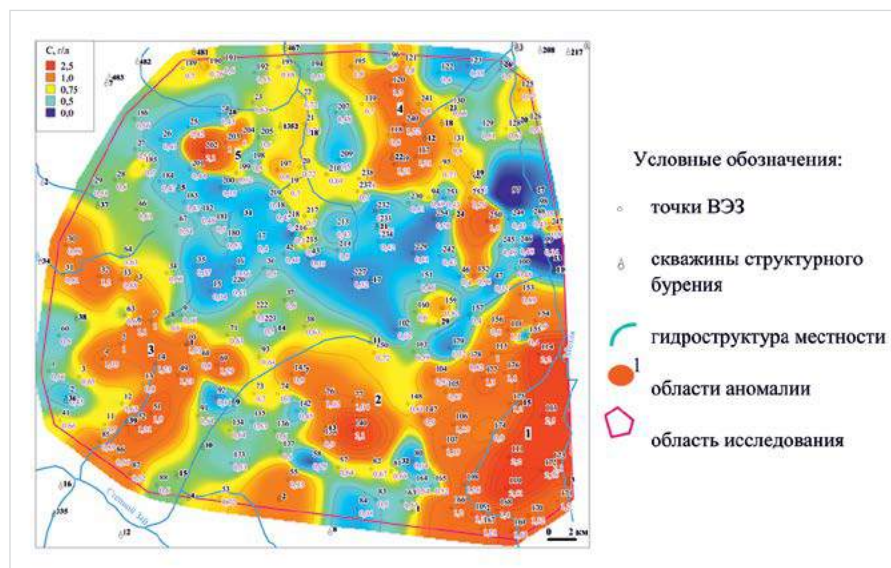


Рис. 4 — Минерализация подземных вод, по данным ВЭЗ, 1 сезон наблюдений

Fig. 4 — The salinity of ground waters, according to the VES survey data, 1 period of monitoring

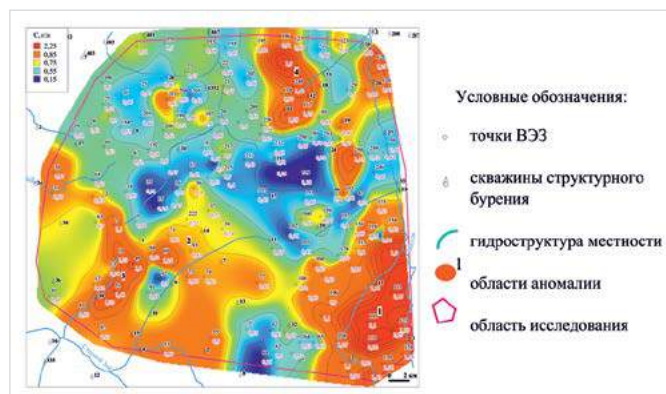


Рис. 5 — Минерализация подземных вод, по данным ВЭЗ, 2 сезон наблюдений

Fig. 5 — The salinity of ground waters, according to the VES survey data, 2 period of monitoring

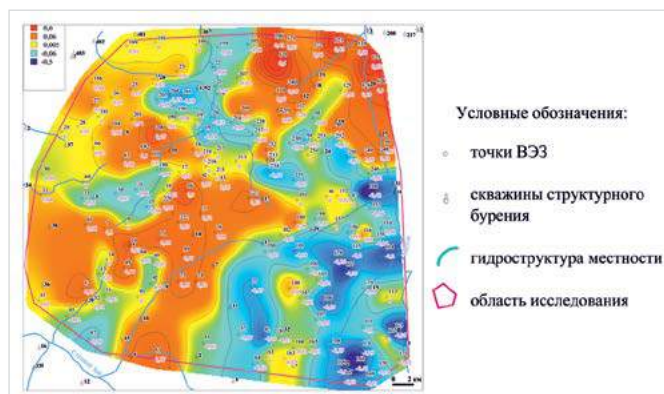


Рис. 6 — Карта разностей минерализации подземных вод, по данным ВЭЗ: 1 и 2 сезоны наблюдений

Fig. 6 — The map of variety of ground waters salinity, according to the VES survey data, 1 and 2 periods of monitoring

На карте разностей минерализации подземных вод 1 и 2 сезонов наблюдений, по данным ВЭЗ (рис. 6), большие увеличения минерализации ко второму сезону (июль–август) наблюдаются для точек, приуроченных к понижениям рельефа (долины рек) и к территориям, прилегающим к локальным поднятиям, выявленным по кровле лингуловых глин. Это свидетельствует о вымывании солей в зоны разгрузки после зимнего сезона, при этом в зонах аномалий происходит уменьшение минерализации. По карте разности минерализации второго и первого сезонов (рис. 6) возможно выявление участков максимального привноса солей. Эти участки отмечаются увеличением минерализации, и можно предполагать наличие источников засоления на этих территориях.

В результате выполненного эколого-геофизического мониторинга выявлены тенденции изменения минерализации и засоления водоносных горизонтов на территории исследований. Из выделяемых пяти аномалий минерализации, две (вторая и пятая) являются локальными. Наиболее интенсивной является аномалия 1. Эпицентр этой аномалии приурочен к положительной структуре (по поверхности лингуловых глин), здесь подземные воды с минерализацией более 2 г/л занимают значительную площадь. Второй по значимости является аномалия 3 в юго-западной части территории. Здесь в самой западной части по данным стационарного гидромониторинга обнаружены минерализации существенно больше 2 г/л. Эта аномалия приурочена также к положительной структуре (по поверхности лингуловых глин). Аномалия 4, обе ее половины: западная и восточная, приурочены к северо-восточному борту крупного поднятия (по кровле лингуловых глин), само поднятие рассечено долиной р. Мелля. Центры аномалий ко второму сезону смещаются в сторону пониженных участков рельефа.

Итоги

Выявлены тенденции изменения минерализации водоносных горизонтов на территории исследований. Две выделяемые аномалии минерализации являются локальными. Межсезонные изменения минерализации, скорее всего, связаны с режимом питания подземных вод, а не с изменением источников засоления.

Сами источники во всех случаях располагаются в зонах питания подземных вод и, вероятно, связаны с нефтепромысловыми сооружениями. Для их локализации необходимо проведение более детальных исследований.

Выводы

Предложенная методология геофизического мониторинга позволяет строить детальные карты минерализации подземных вод.

Список литературы

1. Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика. М.: МГУ, 2006. 256 с.
2. Боровский М.Я., Борисов А.С., Шакуро С.В., Фахрутдинов Е.Г., Богатов В.И. Электроразведочные исследования по определению нефтяного загрязнения в районах нефтепромысловых сооружений. Чистая вода. Казань: Сборник трудов IV Международного Конгресса «Чистая вода. Казань». Казань: Куранты, 2013. С. 69–71.
3. Боровский М.Я., Борисов А.С., Фахрутдинов Е.Г., под ред. Борисова А.С. Комплексное геолого-геофизическое изучение верхней части осадочного чехла. Казань: КФУ, 2016. 214 с.
4. Боровский М.Я., Газеев Н.Х., Нургалеев Д.К.; под ред. Нургалеева Д.К. Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты. Казань: Экоцентр, 1996. 316 с.
5. Галеев Р.Г., Муслимов Р.Х., Васясин Г.И., Иванов А.В., Покровский В.А., Гатиятуллин Н.С., Чендарев В.В., Зиятдинов К.Ш.; под ред. Бутова Б.В. Техногенез и экологический мониторинг юго-востока Республики Татарстан. Казань: КГУ, 1995. 244 с.
6. Галин Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики. М.: Недра, 1989. 124 с.
7. Геофизические методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1985. 250 с.
8. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности. Под ред. проф. Шевнина В.А. и доц. Модина И.Н. М.: РУССО, 1999. 511 с.
9. Гидрогеоэкологические исследования в нефтедобывающих районах Республики Татарстан. Под ред. Короткова А.И.,

Учаева В.К. Казань: Репер, 2007. 300 с.

10. Ибрагимов Р.Л. Прогнозирование гидрогеоэкологических условий в нефтедобывающих районах Татарстана: автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Пермь: ПГУ, 2007. 32 с.
11. Горяинов Н.Н., Шарапанов Н.И. и др. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1985. 184 с.
12. Мингазов М.Н., Петрова Г.И., Каримов М.Ж., Терновская И.А., Боровский М.Я. Эколого-гидрогеофизическое прогнозирование техногенных изменений в зоне пресных вод при разработке Ашальчинского месторождения сверхвязких нефтей. Сборник научных трудов ТатНИПИнефть. Выпуск № LXXVIII. М.: ВНИИОЭНГ. 2010. С. 310–321.
13. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.
14. Основы полевой и промысловой геофизики для геологов. под ред. проф. Хисамова Р.С. Казань: ФЭН, 2013. 359 с.
15. Петров А.А., Федоров А.И. Решение обратной задачи электроразведки методами постоянного тока и ВП // Известия АН СССР. Физика Земли. 1988. №11. С. 60–65.
16. Полевые методы гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, инженерно-геофизических и эколого-геологических исследований. М.: МГУ, 2000. 352 с.
17. Смирнов А.А., Закутски С.Н., Притыка И.В. Руководство по обработке и интерпретации результатов наземной электроразведки. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1984. 232 с.
18. Харьковский К.С. Поиск и оконтуривание очагов засоления подземных вод методами наземной электроразведки (на примере нефтедобывающих районов Республики Татарстан): автореферат дисс. ... канд. геол.-мин. наук. СПб: С-ПБГИ, 1998. 21 с.
19. Хисамов Р.С., Гатиятуллин Р.С., Ибрагимов Р.Л. и др. Гидрогеологические условия нефтяных месторождений Татарстана. Казань: ФЭН АН РТ, 2009. 254 с.
20. Швыдкий Э.К., Якимов А.С., Вассерман В.А. Геофизические и геохимические технологии прогноза и оценки нефтеносности объектов. Казань: Новое Знание, 2008. 163 с.

Ecological-geophysical monitoring and hydrogeochemistry of the underground water of oil fields

Authors:

Evgeniya E. Andreeva — senior researcher¹; ae8277@rambler.ru

Liliya Z. Anisimova — researcher¹

Anatoliy S. Borisov — Sc.D., senior researcher¹; basgeo49@mail.ru

Mikhail Y. Borovskiy — Ph.D., general director²; lilabor@mail.ru

¹The Institute for ecological problems and subsurface resources management of the Academy of Science of the Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

²CJSC SPA “Reper”, Kazan, Russian Federation

Abstract

Possibilities of the vertical electric sounding — one of mobile geophysical methods for quantitative determination of the salinity of the subsurface water of the main aquifers, situated on the territory of oil fields of the south-east of the Republic of Tatarstan — are analyzed in the article. The proposed methodology allows to construct detailed maps of the salinity of aquifers of the areas and to determine the protection rate of the groundwater from pollution.

Materials and methods

The method of vertical electrical sounding.

Results

Trends of the salinity of aquifers in the area were revealed. It turned out that two salinity anomalies are local. Interseasonal changes of the salinity are most likely related to the regime of subsurface water supply, but not to the changes of salinity sources. The sources themselves are in all cases located in groundwater

feeding zones and are, probably, associated with oilfield facilities.

Conclusions

The proposed methodology of geophysical monitoring makes it possible to construct detailed maps of the groundwater salinity.

Keywords

geophysical monitoring, salinity, groundwater flows, specific electrical resistance, anomaly

References

- Bogoslovskiy V.A., Zhigalin A.D., Khmelevskoy V.K. *Ekologicheskaya geofizika* [Ecological Geophysics]. Moscow: MGU, 2006, 256 p.
- Borovskiy M.Ya., Borisov A.S., Shakuro S.V., Fakhrutdinov E.G., Bogatov V.I. *Elektrozvedochnye issledovaniya po opredeleniyu neftyanogo zagryazneniya v rayonakh neftepromyslovyykh sooruzheniy. Chistaya voda. Kazan'*. [Electro-exploration studies to determine oil pollution in areas of oilfield structures] Pure Water. Kazan: Collected papers of the IV International Congress “Pure Water. Kazan”, Kazan: Kuranty, 2013, pp. 69–71.
- Borovskiy M.Ya., Borisov A.S., Fakhrutdinov E.G., ed. by Borisova A.S. *Kompleksnoe geologo-geofizicheskoe izuchenie verkhney chasti osadochnogo chekhla* [Comprehensive geological and geophysical study of the upper part of the sedimentary cover]. Kazan: KFU, 2016, 214 p.
- Borovskiy M.Ya., Gazeev N.Kh., Nurgaliev D.K.; ed. by Nurgalieva D.K. *Geokologiya nedr Respubliki Tatarstan: geofizicheskie aspekty* [Geocology of the subsurface resources of the Republic of Tatarstan: geophysical aspects]. Kazan: Ekotsentr, 1996, 316 p.
- Galeev R.G., Muslimov R.Kh., Vasyasin G.I., Ivanov A.V., Pokrovskiy V.A., Gatiyatullin N.S., Chendarev V.V., Ziyatdinov K.Sh.; ed. by Burova B.V. *Tekhnogenez i ekologicheskoy monitoring yugo-vostoka Respubliki Tatarstan* [Technogenesis and ecological monitoring of the southeast of the Republic of Tatarstan]. Kazan: KGU, 1995, 244 p.
- Galin D.L. *Interpretatsiya dannykh inzhenernoy geofiziki* [Interpretation of engineering geophysics data]. Moscow: Nedra, 1989, 124 p.
- Geofizicheskie metody issledovaniy v gidrogeologii i inzhenernoy geologii [Geophysical methods of research in hydrogeology and engineering geology]. Moscow: Nedra, 1985, 250 p.
- Geokologicheskoe obsledovanie predpriyatiy neftyanoy promyshlennosti. Pod red. prof. Shevnina V.A. i dots. Modina I.N. [Geocological survey of oil industry enterprises]. Moscow: RUSSO, 1999, 511 p.
- Gidrogeokologicheskie issledovaniya v nefteobrabatovayushchikh rayonakh Respubliki Tatarstan. Pod red. Korotkova A.I., Uchaeva V.K. [Hydrogeocological research in oil-producing regions of the Republic of Tatarstan]. Kazan: Reper, 2007, 300 p.
- Ibragimov R.L. *Prognostirovaniye gidrogeokologicheskikh usloviy v nefteobrabatovayushchikh rayonakh Tatarstana* [Forecasting of hydro-geocological conditions in oil-producing regions of Tatarstan]. Sc.D. dissertation (Geology and Mineralogy). Perm, 2007, 32 p.
- Goryainov N.N., Sharapanov N.I. and oth. *Metody geofiziki v gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Methods of geophysics in hydrogeology and engineering geology] Moscow: Nedra, 1985, 184 p.
- Mingazov M.N., Petrova G.I., Karimov M.Zh., Ternovskaya I.A., Borovskiy M.Ya. *Ekologo-gidrogeofizicheskoe prognozirovaniye tekhnogennykh izmeneniy v zone presnykh vod pri razrabotke Ashal'chinskogo mestorozhdeniya sverkhvyazkikhneftey* [Ecological and hydrogeophysical forecasting of technogenic changes in the fresh water zone during the development of the Ashal'chinskoe super-viscous oil field]. Collected scientific works of TatNIPNefte. Issue №LXXVIII. Moscow: VNIIOENG, 2010, pp. 310–321.
- Ogil'vi A.A. *Osnovy inzhenernoy geofiziki* [Fundamentals of engineering geophysics]. Moscow: Nedra, 1990, 501 p.
- Osnovy polevoy i promyslovoy geofiziki dlya geologov. ed. by Khisamova R.S. Fundamentals of field and field geophysics for geologists]. Kazan: FEN, 2013, 359 p.
- Petrov A.A., Fedorov A.I. *Reshenie obratnoy zadachi elektrozvedki metodami postoyannogo toka i VP* [Solution of the inverse problem of electrical exploration, using direct current and VP methods]. *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli*, 1988, issue 11, pp. 60–65.
- Polevyye metody gidrogeologicheskikh, inzhenerno-geologicheskikh, geokriologicheskikh, inzhenerno-geofizicheskikh i ekologo-geologicheskikh issledovaniy [Field methods of hydrogeological, engineering-geological, geocryological, engineering-geophysical and ecological-geological research]. Moscow: MGU, 2000, 352 p.
- Smirnov A.A., Zakutski S.N., Prityka I.V. *Rukovodstvo po obrabotke i interpretatsii rezul'tatov nazemnoy elektrozvedki* [Guide to the processing and interpretation of the results of ground-based electrical prospecting]. Voronezh: Voronezh State University, 1984, 232 p.
- Khar'kovskiy K.S. *Poisk i okonturivaniye ochagov zasolneniya podzemnykh vod metodami nazemnoy elektrozvedki (na primere nefteobrabatovayushchikh rayonov Respubliki Tatarstan)* [Search and delineation of the salinization foci of groundwater by ground-based electrical survey methods (on the example of oil-producing regions of the Republic of Tatarstan)]: Ph.D. dissertation (Geology and Mineralogy). St. Petersburg, 1998, 21 p.
- Khisamov R.S., Gatiyatullin R.S., Ibragimov R.L. and oth. *Gidrogeologicheskoe usloviya neftyanykh mestorozhdeniy Tatarstana* [Hydrogeological conditions of oil deposits of Tatarstan]. Kazan: FEN, 2009, 254 p.
- Shvydkin E.K., Yakimov A.S., Vasserman V.A. *Geofizicheskie i geokhimicheskie tekhnologii prognoza i otsenki neftenosnosti ob'ektov* [Geophysical and geochemical technologies of forecasting and estimation of oil-bearing capacity of objects]. Kazan: Novoe Znanie, 2008, 163 p.