



УДК 502

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА В СВЯЗИ С ПРОИЗВОДСТВОМ ГРП

GEOPHYSICAL TECHNIQUES FOR GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF HYDRAULIC FRACTURING WELL SITES

Боровский Михаил Яковлевич

кандидат геолого-минералогических наук,
генеральный директор,
ООО «Геофизсервис»
lilabor@mail.ru

Шакуро Сергей Владимирович

генеральный директор,
ООО «ФРОНТ-Геология»
shakuro@frontgeo.ru

Богатов Владимир Ильич

ведущий геофизик,
ООО «Геофизсервис»
vladbogatoff@gmail.com

Филимонов Валерий Николаевич

ведущий геофизик,
ООО «Геофизсервис»
f_v_n@bk.ru

Аннотация. Использование современных приповерхностных геофизических методов является ключом к предотвращению и уменьшению негативных последствий фрекинга. Предложена концепция оценки поверхностных условий мест производства гидравлического разрыва пласта.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, фрекинг, добыча нефти и газа, техногенное изменение геологической среды, прогноз, геофизические методы, оценка природной защищенности, электротомография, удельное электрическое сопротивление.

Borovskiy Mikhail Yakovlevich

Candidate of Geological and Mineralogical sciences, General Director,
«Geofizservis» Ltd
lilabor@mail.ru

Shakuro Sergey Vladimirovich

general Director,
«FRONT Geology» Ltd
shakuro@frontgeo.ru

Bogatov Vladimir Ilyich

leading geophysicist
«Geofizservis» Ltd
vladbogatoff@gmail.com

Filimonov Valery Nikolaevich

leading geophysicist
«Geofizservis» Ltd
f_v_n@bk.ru

Annotation. The efficiency of the necessary facilities provision at the sites of hydraulic fracturing activity strongly depends on understanding of near-surface conditions. Geophysical methods provide a means to map and quantify these geological features. The use of modern near-surface geophysical techniques is a key to prevent and reduce the negative effects of fracking.

Keywords: hydraulic fracturing, fracking, oil and gas, anthropogenic changes of the geological environment, forecast, geophysical methods, evaluation of natural protection, electrical resistivity tomography, electrical resistivity.

Для обеспечения высокого уровня добычи нефти и газа, наряду с разведкой и освоением новых месторождений, особое внимание уделяется повышению нефтеотдачи и интенсификации добычи углеводородного сырья. Одним из наиболее успешных технологических решений, применяемых для этой цели, служит гидравлический разрыв продуктивного пласта (ГРП, фрекинг). Данный процесс сопровождается активным антропогенным вмешательством в геологическую среду, приводящим в ряде случаев, к негативным последствиям.

В [1, 32] приводится обобщенная схема экологических угроз проектов по добыче сланцевого газа.

Производство ГРП требует концентрации на ограниченной по площадным размерам территории большого количества автотранспорта с большой грузоподъемностью и различного оборудования. Вес отдельных единиц техники (цистерны с водой, песковозы, насосная установка на автошасси Mercedes Benz Actros, блендер для приготовления жидкости ГРП, трактора и др.) достигает 25–26 тонн и более. Одновременно на участке работ по проведению ГРП может находиться более двадцати тягачей, иногда складировается значительное количество веществ необходимых для гидравлического разрыва. «Газпромнефть-Хантос», дочерняя компания «Газпром нефти» (данные СМИ), для выполнения 30-стадийного ГРП на Южно-Приобском месторождении в ХМАО на горизонтальном участке скважины, длиной 1,5 тыс. м, при общей протяженности скважины более чем в 4,6 тыс. м и глубине залегания нефтяного пласта свыше 2,6 тыс. м использовало 1,2 тыс. тонн проппанта.



Наличие мощной техногенной нагрузки на недра способствует активизации опасных геологических явлений: просадки грунта, формирование оползневых и карстоопасных массивов, усиление эрозионной деятельности и др. Необходима предварительная оценка территории с целью прогнозов техногенного изменения геологической среды и его масштабов. Геофизические методы изучения инженерно-геологических характеристик перспективных участков подробно изложены в соответствующей [1–31] литературе. При выборе рационально-рентабельного геофизического комплекса следует принимать во внимание, что активизация опасных геологических процессов, как правило, контролируется разломными нарушениями, зонами повышенной трещиноватости и гидрогеологическими особенностями приповерхностной толщи.

Концентрация большого количества тяжелой самоходной техники и специального оборудования для изготовления технической жидкости для ГРП не исключает проливов горюче-смазочных материалов (ГСМ), утечек поллютантов (техническая и пресная вода, гели, эмульсии, какие-либо добавки в буровые растворы, и др.) из различных емкостей и коммуникаций. Следует отметить, что перед началом работы скважину очищают от грязи дренированием и промывают для улучшения фильтрационных свойств призабойной зоны, иногда производится предварительная обработка скважины соляной или глинокислотой (смесь соляной и плавиковой). Все это предполагает предварительное определение естественной (природной) защищенности недр в районе проведения ГРП.

Существенна концепция оценки поверхностных условий мест производства гидравлического разрыва пласта для своевременного принятия и осуществления мер по предотвращению негативных последствий рассматриваемого цикла (ГРП, фрекинг) геологоразведочных (эксплуатационных) работ. Для оптимального размещения объектов обустройства и производства ГРП просматривается два аспекта [32]:

1. Изучение инженерно-геологических характеристик, в том числе сейсмическое микрорайонирование, для определения геодинамической (геомеханической) устойчивости массивов горных пород;
2. Оценка природной защищенности территории (участка, района) с целью определения фильтрационной способности приповерхностных слоев геологического разреза изучаемого массива, с выделением водоохраных зон.

В ряде регионов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции накоплен огромный опыт по прогнозированию и проведению мероприятий по экологической безопасности, уменьшению или исключению негативных последствий процессов освоения нефтяных месторождений, в том числе и на поздней стадии разработки.

Значительную помощь для своевременного осуществления мероприятий с позиций экологической безопасности, прогнозирования негативных последствий геологоразведочного процесса оказывают оперативные, малозатратные, экологически приемлемые геофизические методы разведки.

С целью оконтуривания очагов и ореолов загрязнения в плане и в разрезе, уточнения путей миграции загрязняющих веществ, выявления доминирующего источника загрязнения на одном из участков Восточного Закамья Республики Татарстан проведено [10] электрическое зондирование методом электротомографии.

Привлекает внимание возможность использования карт площадного распределения электрических свойств для оценки защищенности геологической среды от негативного влияния процессов подготовки и проведения ГРП.

Как известно, одним из условий успешного применения разведочной геофизики служит дифференцированность физических свойств горных пород. Важным физическим параметром является удельное электрическое сопротивление, которое изменяется в широких пределах и определяется [1, 10, 14, 17, 18] рядом факторов.

Наиболее низкими и, в то же время, мало меняющимися сопротивлениями отмечаются глинистые породы. Глины морского происхождения имеют удельное сопротивление от 1–2 до 10 Ом·м. Оно возрастает с увеличением доли песчаных фракций. Для континентальных глин характерны величины сопротивлений 5–20 Ом·м, для суглинков 15–40 и для супесей 25–60 Ом·м. Сопротивление песков определяется, в основном, их водонасыщенностью и минерализацией воды, заполняющей поры. Последний фактор, как отмечает Г.П. Новицкий (1974), при картировании не имеет существенной роли, так как на небольших глубинах воды практически пресные. Однако не исключено, что в районах интенсивной добычи углеводородов воды верхних горизонтов могут быть минерализованы.

В целом, для рыхлых осадочных пород установлена следующая закономерность: сопротивление их тем больше, чем больше размер зерен. При переходе от глин к суглинкам, супесям, пескам, песчаным отложениям значение геофизического параметра увеличивается от первых единиц до сотен омметров [1, 10, 14, 17, 18]. Это [1, 10, 11] положено в основу составления карты оценки естественной защищенности верхней части геологического разреза в районе осуществления процессов ГРП (рис. 1). В качестве исходной использована, полученная по данным электротомографии, карта удельного электрического сопротивления в интервале глубин 0–40 м.

Использование метода электротомографии рекомендовано Госстроем России (СП 11-105-97, часть У1, 2004) при любых детальнейших геофизических исследованиях, выполняемых в ходе инженерно-геологических изысканий. Особенно этот метод эффективен в зонах тектонических нарушений, в



зонах городской застройки, в условиях, когда геологический разрез заметно выходит за рамки горизонтально-слоистого.

На рисунке 1 представлена карта оценки природной защищенности приповерхностной части разреза участка подготовки и проведения ГРП, сформированная, как указано выше, на базе изучения площадного распределения удельного электрического сопротивления, полученного по материалам электротомографии.

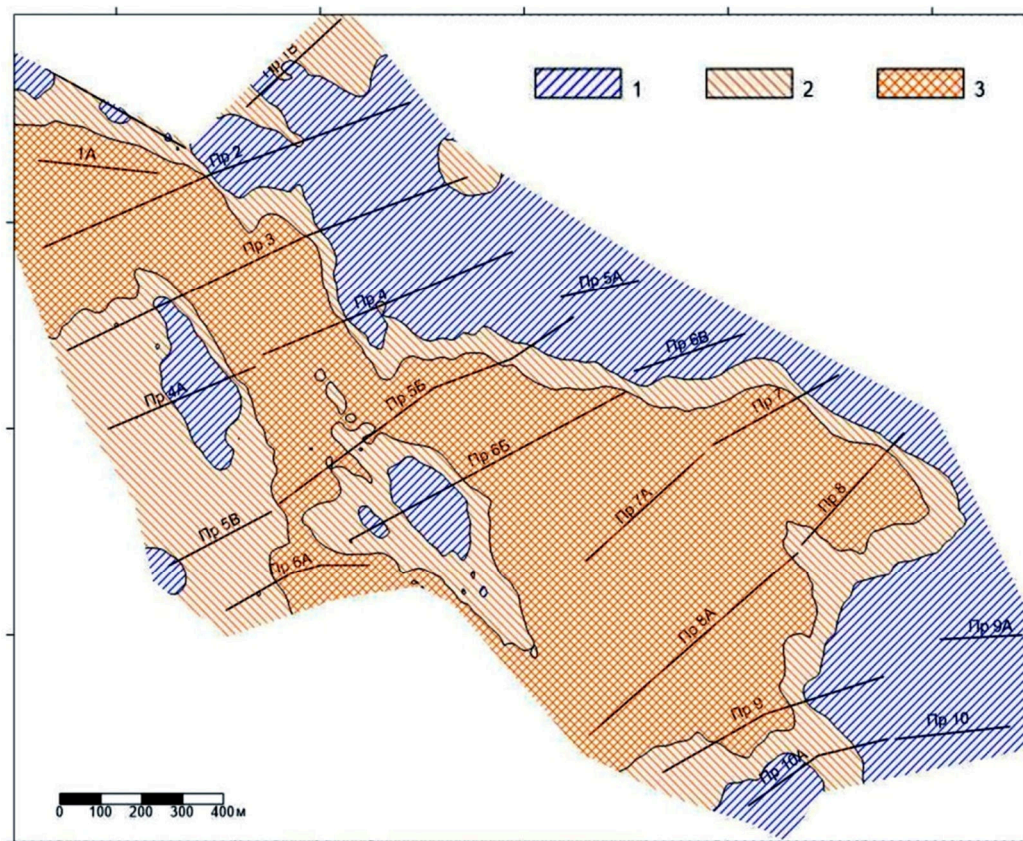


Рисунок 1 – Карта оценки природной защищенности приповерхностной части разреза района проведения ГРП (по данным электротомографии). Защищенность: 1 – хорошая; 2 – удовлетворительная; 3 – плохая

Принято: наихудшими условиями естественной защищенности недр обладают участки, сложенные преимущественно песчаными породами. Для них характерны величины параметров более 60 Ом·м. Наилучшие условия защищенности свойственны участкам, где развиты преимущественно глины и отложения с повышенным содержанием глинистых фракций (суглинки и др.). Удельное электрическое сопротивление горных пород в этом случае не превышает 40 Ом·м. Удовлетворительной защищенностью характеризуются участки, где распространены горные породы с удельным электрическим сопротивлением в пределах 40–60 Ом·м. Здесь вероятны различные соотношения плохо и хорошо проницаемых слоев. В целом, площадь участков с плохими условиями защищенности составляет 1,0 км² (40 % территории участка исследований), с удовлетворительными – 0,76 км² (31 %), хорошими – 0,74 км² (29 %).

Карта оценки природной защищенности может использоваться для определения уязвимости окружающей среды (воздух, земельные и лесные угодья, поверхностные воды и др.), как «снизу», так и естественной защищенности пресных подземных вод «сверху».

Составление карты оценки природной защищенности приповерхностной части геологического разреза на нефтепромыслах (рис. 1), где производится добыча углеводородного сырья с помощью ГРП способствует оптимальному размещению различных техногенных источников воздействия на геологическую среду: цистерны с жидкостью, насосные установки, блендер, различные емкости и коммуникации, места для складирования проппанта, каких либо добавок, и др.

Для оценки инженерно-геологических условий на одном из участков РТ (площадь 0,01 км²) проведены высокоточная гравиметрическая съемка и электроразведка методом вертикального электрического зондирования ВЭЗ. Высокоточные гравиметрические наблюдения выполнены в площадном варианте по сети 10 × 10 м. Электроразведка ВЭЗ осуществлена с применением установки Шлюмберже (АВ = 460 м) по сети 20 × 20 м.



При интерпретации материалов высокоточной гравиразведки использованы карты исходных и трансформированных аномалий силы тяжести. Точность определения аномалий силы тяжести в редукции Буге равна $\pm 0,037$ мГал, что позволяет решить задачу выявления локальных аномалий силы тяжести интенсивностью 0,08–0,10 мГал и более.

Инженерно-геологическое истолкование гравиметрических данных базируется на выделении локальных отрицательных аномалий силы тяжести, как правило, отражающих (А.К. Маловичко, В.И. Костицын, 1992; З.М. Слепак, 2005–2017; В.П. Степанов и др., 2005; П.В. Вишневский и др., 1975; В.М. Шувалов, 1983, 2010; С.Г. Бычков, 2010 [1–31]) участки вероятной закарстованности пород и зоны повышенной трещиноватости в верхней части разреза.

Количественная интерпретация данных электрического зондирования выполнена методом автоматической 1D инверсии. Использовано программное обеспечение «ВЭЗ Мастер» (С.В. Шакуро, 2011). Решение обратной задачи проведено при фиксированной геометрии разреза: при заранее выбранном и не изменяемом в ходе подбора количестве и мощности слоёв модели. При подборе оптимальных параметров инверсии на начальном этапе геологического истолкования осуществлена полуавтоматическая палеточная интерпретация кривых ВЭЗ.

Гидрогеологические параметры пород определены в соответствии с принципами, изложенными в монографии Д.Л. Галина (1989). Расчет коэффициентов фильтрации пород верхней части разреза выполнен на основе линейной зависимости вида

$$\log(k_i) = f(\log(\rho_i)),$$

где k_i – коэффициент фильтрации породы, ρ_i – её удельное электрическое сопротивление.

Время вертикальной фильтрации стоков с дневной поверхности до кровли водопроницающего слоя рассчитано по формуле В.М. Гольдберга (1980)

$$t = \sum m_i n / \sqrt[3]{q^2 k_i},$$

где m_i – мощность каждого слоя, выделяемого в зоне аэрации по данным электрического зондирования, мощность зоны аэрации = $\sum m_i$; k_i – коэффициент фильтрации пород в пределах слоя по данным электрического зондирования; n – активная пористость (для всех пород зоны аэрации принято значение $n = 0,15$); q – удельный расход фильтрующейся жидкости, принято значение $q = 0,03$ м/сут. (В.М. Гольдберг и др., 1980).

При изучении инженерно-геологических явлений важное значение имеет информация о таких особенностях верхней части геологического разреза как зоны повышенной трещиноватости или ослабленные зоны. Данные неоднородности геологического разреза служат путями движения различных флюидов (атмосферных вод, технической жидкости и др.). Наличие ослабленных зон способствует развитию экзогенных геологических процессов: овражная эрозия, карстово-суффозионные явления, оползнеобразование и др.

Анализ гравиметрических материалов (исходные и трансформированные карты) свидетельствует о достаточно дифференцированном характере поля силы тяжести. Выделяется ряд чередующихся локальных минимумов и максимумов геофизического поля. Интенсивность локальных возмущений положительного знака достигает 0,05–0,10 мГал, амплитуда отрицательных аномалий равна – 0,10 мГал.

Были выделены зоны повышенной трещиноватости (зоны разуплотнения) в условиях Поволжского региона, как указано выше, отражающиеся в виде локальных понижений (минимумов) гравитационного поля. Протяженность зон разуплотнения до ста метров. Общая площадь зон повышенной трещиноватости составляет 2 600 кв. м (26 % от общей площади – 10 000 кв. м – участка работ). Принято во внимание, что ослабленные зоны горных пород верхней части разреза контролируют развитие различных форм проявлений активных экзогенных геологических процессов.

По данным вертикального электрического зондирования геоэлектрический разрез площадки 5-слойный. Фрагментарно проявленный верхний высокоомный слой мощностью до 1,5 метров, представленный элювием и рыхлыми слабовлажными коренными глинами, невыдержан по площади.

Ниже, до глубины 7–10 метров, картируется низкоомный слой глин с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) 13–20 Ом·м. На разрезах оба слоя представлены единой слабопроницаемой пачкой. Более глубоко залегают, по-видимому, наиболее водопроницаемые породы в разрезе: глины с высоким содержанием песка или другого крупнообломочного материала. Мощность пласта – до 15 метров, коэффициент фильтрации пород варьирует в пределах 0,2–0,3 м/сут.

Составлена карта вычисленного средневзвешенного значения коэффициента фильтрации слоя, сложенного глинистыми породами со значительным содержанием песчаных фракций, залегающего на глубинах 10–20 метров. Наблюдается тенденция к возрастанию значений коэффициента



фильтрации от центра площадки к её периферии. Пласт-коллектор подстилается низкоомной водопорной глинистой толщей мощностью более 50 метров. Уровень грунтовых вод, вероятно, залегает на абсолютной отметке 133–137 метров, где на геоэлектрических разрезах отмечается снижение УЭС пласта-коллектора. Предполагается, что указанный пласт с улучшенными коллекторскими свойствами может быть благоприятен для движения и скопления различных флюидов, в частности «сезонной верховодки».

Наличие первого от поверхности водоносного горизонта (возможно, сезонного) позволяет предположить вероятное его загрязнение под воздействием техногенной нагрузки. Степень его защищенности оценена на основании расчётного времени фильтрации стоков с поверхности по В.М. Гольдбергу (1980). Величина указанного параметра плавно возрастает с 35 суток на северо-западе площадки до 55 суток на юго-востоке. За расчётный уровень верховодки принята абсолютная отметка 135 метров.

В основании разреза выделяется гипсовая толща – последний высокоомный слой. УЭС верхней части слоя закономерно варьирует в пределах 200–300 Ом·м. В центральной части площадки фиксируются наиболее высокоомные породы, к северо-западу и юго-востоку от центральной части УЭС плавно понижается.

Результаты комплексных геофизических исследований на площадке под производство и проведение ГРП свидетельствует о следующем.

По данным высокоточной гравиразведки в верхней части геологического разреза выделяются ослабленные зоны – зоны повышенной трещиноватости горных пород.

По материалам электроразведки ВЭЗ изучены литология и физические свойства пород, слагающих разрез до глубины 80 метров. На глубине 7–10 метров выявлен пласт с повышенными коллекторскими свойствами, который предположительно вмещает первый от поверхности безнапорный водоносный горизонт, обводнённость горизонта носит, по-видимому, сезонный характер. Наиболее вероятное положение уровня грунтовых вод – в районе абсолютной отметки +135 метров, на глубине 15 метров от дневной поверхности. Коэффициенты фильтрации пород невысокие – не более 0,3 м/сут.

По защищённости первого от поверхности водоносного горизонта площадка относится, согласно В.М. Гольдбергу, ко II и III категории, расчётное время фильтрации поверхностных стоков – порядка 50 суток.

Полученные материалы говорят об эффективности комплекса геофизических исследований, включающего высокоточную гравиразведку и электроразведку методом сопротивлений (установка ВЭЗ) при изучении особенностей геологического разреза на проектируемой площадке под производство ГРП. Детальное изучение и выявление неоднородностей в верхней части разреза способствует своевременному предотвращению, минимизации или ликвидации нежелательных последствий проведения гидравлического разрыва пласта. Результаты работ являются основой для оценки естественной (природной) защищенности недр и служат базой для рационального проектирования инженерных и специальных мероприятий при обустройстве площадок нефтепромыслов, где планируется осуществление технологий, направленных на эффективное повышение нефтеотдачи продуктивных пластов.

Для нефтедобывающих регионов разработаны [1, 2, 8, 10, 11] методические основы оценки естественной защищенности недр (прежде всего, имеются в виду горизонты пресных подземных вод), как «снизу», так и «сверху» по геофизическим данным. Предложены [1, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 15, 16, 17, 19, 23, 25, 26, 27, 28] геофизические комплексы и технологии для выявления источников и ореолов загрязнения геологической среды.

Эффективным средством контроля состояния природной окружающей среды служит [1, 9, 11, 17, 20], реализуемый в ГНПП «Аэрогеофизика» комплекс, позволяющий вести дистанционный экологический мониторинг, включающий тепловую, гамма-спектрометрическую, газовую и аэрозольную съемки.

Современное аппаратно-методическое и интерпретационное обеспечение позволяет [32, 33], использовать геофизическую разведку на прорывных направлениях нефтегазовой геологии и геофизики.

Литература:

1. Боровский М.Я. Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты / М.Я. Боровский, Н.Х. Газеев, Д.К. Нургалиев; под ред. Д.К. Нургалиева. – Казань : Экоцентр, 1996. – 316 с.
2. Методические основы прогнозирования естественной защищенности недр по данным структурной гравиразведки / М.Я. Боровский [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М. : ВНИИОЭНГ. – 2011. – № 8. – С. 40–46.
3. Разведочная геофизика на этапах изучения гидрогеоэкологической ситуации районов нефтепромысловых сооружений / М.Я. Боровский [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 9. – С. 130–135.
4. Методика и результаты комплексных геофизических исследований оползневых массивов на правобережье реки Волги / М.Я. Боровский [и др.] // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 39 сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского, Воронеж, 30 С. – 30 января – 2 февраля 2012 г. – Воронеж : ВГУ, 2012. – С. 48–49.



5. Геофизическая диагностика площадей вероятного распространения загрязнения в районах действующих нефтедобывающих предприятий / М.Я. Боровский [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – М. : ВНИИОЭНГ. – 2012. – № 2. – С. 22–27.
6. Боровский М.Я. Возможности разведочной геофизики при решении геоэкологических задач / М.Я. Боровский, С.В. Шакуро, Е.Г. Фахрутдинов // Развитие геофизических методов с позиций Первой Всесоюзной геофизической конференции (1932 г.): материалы Всероссийской научно-практической конференции (22–23 ноября 2012 г.) / гл. ред. В.И. Костицын ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2012. – С. 31–34.
7. Электроразведочные исследования по определению нефтяного загрязнения в районах нефтепромысловых сооружений / М.Я. Боровский [и др.] // Чистая вода. Казань : Сборник трудов IV Международного Конгресса «Чистая вода. Казань», Казань, 27–28 марта 2013 г. – Казань : ООО «Куранты», 2013. – С. 69–71.
8. Высокоточная гравиразведка в природоохранных целях / М.Я. Боровский [и др.] // Теория и практика нефтяной геофизики : Материалы Всеросс. науч.-прак. конф. с международным участием, посвященной 90-летию А.К. Урупова (21–22 ноября 2013 г.) / гл. ред. В.И. Костицын ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – С. 60–66.
9. Экологические последствия процессов освоения углеводородов сланцевых толщ и геофизические методы их картирования и прогноза // М.Я. Боровский [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2015. – № 2. – С. 74–77.
10. Геофизическое прогнозирование природной защищенности мелкозалегающих залежей природных битумов и тяжелых нефтей / М.Я. Боровский [и др.] // Инженерная геофизика 2016. – Анапа, Россия, 25–29 апреля 2016 г.
11. Боровский М.Я. Комплексное геолого-геофизическое изучение верхней части осадочного чехла / М.Я. Боровский, А.С. Борисов, Е.Г. Фахрутдинов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2016. – 216 с.
12. Ибрагимов Р.Л. Типизация геологической среды для оценки степени защищенности подземных вод нефтеперспективных регионов / Р.Л. Ибрагимов, М.Я. Боровский, Е.Г. Фахрутдинов // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 2. – С. 6–9.
13. Леоненко М.В. Методика оценки карстоопасности территории по результатам геофизических исследований (на примере Нижегородской области) : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук : 04.00.07 / Леоненко Михаил Васильевич. – М. : ПНИИИС, 1996. – 23 с.
14. Ляховицкий Ф.М. Инженерная геофизика / Ф.М. Ляховицкий, В.К. Хмелевской, З.Г. Яценко. – М. : Недра, 1989. – 252 с.
15. Оценка эколого-гидрогеологической ситуации при разработке месторождений сверхвязких нефтей тепловыми методами / М.Н. Мингазов [и др.] // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 2. – С. 26–30.
16. Миннуллин Р.М. Технологические аспекты обеспечения защиты родниковых вод от техногенных факторов при нефтедобыче : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 03.00.16 / Миннуллин Рашит Марданович. – Казань : КГТУ, 2009. – 19 с.
17. Мониторинг геологической среды: активные эндогенные и экзогенные процессы // Материалы Первой Всероссийской конференции. – Казань : Изд-во КГУ, 2000. – 392 с.
18. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М. : Недра, 1990. – 501 с.
19. Перекалин С.О. Опыт комплексных скважинно-наземных исследований для оценки загрязнения грунтов нефтепродуктами / С.О. Перекалин, В.А. Истратов, С.И. Остапчук // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 12. – С. 30–33.
20. Пируева Т.Г. Дистанционный поисковый мониторинг городских территорий и природных объектов / Т.Г. Пируева, С.А. Скловский // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 5. – С. 46–53.
21. Слепак З.М. Геофизический мониторинг при сохранении памятников архитектуры на примере Казанского Кремля. – Казань : Изд-во Казанского университета, 1999. – 176 с.
22. Слепак З.М. Геофизика для города. – М. : ЕАГО; Тверь : ГЕРС, 2007. – 240 с.
23. Файзуллин И.Н. Охрана недр и обеспечение экологической безопасности нефтедобывающих регионов / И.Н. Файзуллин, М.Я. Боровский, Е.Г. Фахрутдинов // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 2. – С. 31–36.
24. Экзогенные геологические процессы на территории Среднего Поволжья / Е.Г. Фахрутдинов [и др.] // Гидрогеология и Карстование : межвуз. сб. науч. тр. ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2013. – Вып. 19. – С. 238–246.
25. Хамидуллин В.В. Эффективность геофизических методов при выявлении участков загрязнения на нефтеразработках / В.В. Хамидуллин, З.Л. Доренская // Охрана и разведка недр. – 2000. – № 10. – С. 37–40.
26. Харьковский К.С. Поиск и оконтуривание очагов засоления подземных вод методами наземной электроразведки (на примере нефтедобывающих районов Республики Татарстан) : автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук : 04.00.06 / Харьковский Константин Станиславович. – СПб. : С-ПбГГИ, 1998. – 21 с.
27. Шакуро С.В. Применение геофизических методов при изучении техногенных линз нефтепродуктов // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 8. – С. 24–26.
28. Шакуро С.В. Геофизическая оценка площадей загрязненных нефтепродуктами на урбанизированных территориях. Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан / С.В. Шакуро, М.Я. Боровский // Труды X Междунар. симп, Казань, 1–3 декабря 2009 г. – Казань : Изд-во Печатный салон Онегин, 2009. – С. 202–212.
29. Шувалов В.М. Исследование закарстованных территорий и подземных полостей методами электроразведки : учеб. пособие по спецкурсу / В.М. Шувалов. – Пермь, 1983. – 92 с.
30. Шувалов В.М. Геофизические методы исследований и интерпретации геофизических данных. Комплексирование методов геофизики при решении задач геологии, инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии : учеб. пособие / В.М. Шувалов; Перм. гос. ун-т. – 2010. – 160 с.
31. Геофизические исследования скважин – эффективный инструмент мониторинга геологической среды / Г.Е. Яковлев [и др.] // Мониторинг геологической среды: активные эндогенные и экзогенные процессы : Материалы Первой Всероссийской конференции (10–15 ноября 1997 г.). – Казань : Изд-во Казанск. ун-та, 2000. – С. 379–382.



32. Боровский М.Я. Эколого-геофизическое прогнозирование поверхностных условий мест производства гидравлического разрыва пласта / М.Я. Боровский, В.И. Богатов, С.В. Шакуро // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Материалы конференции. – Екатеринбург : ИГФ УрО РАН, 2017. – С. 88–92.

33. Боровский М.Я. Методические основы подготовки нефтяных месторождений к горизонтальному бурению / М.Я. Боровский, Б.В. Успенский, С.Е. Валеева // Горизонтальные скважины 2017. – Казань, Россия, 15–19 мая 2017 г.

References:

1. Borovsky M.Ya. Geocology of the mineral resources of the Republic of Tatarstan: geophysical aspects / M.Ya. Borovskiy, N.Ch. Gaziev, D.K. Nurgaliyev; ed. by D.K. Nurgaliyev. – Kazan : Ekotsentr, 1996. – 316 p.
2. Methodological basis of forecasting the natural protection of the subsoil according to structural gravity / M.Ya. Borovskiy, [etc.] // Environment Protection in oil and gas complex. – M. : VNIOENG. – 2011. – № 8. – P. 40–46.
3. Exploration Geophysics on the stages of learning hydrogeocological situation areas of oilfield construction / M.Ya. Borovskiy [etc.] // Oil industry. – 2011. – № 9. – P. 130–135.
4. Methods and results of complex geophysical studies of landslide massifs on the right Bank of the Volga river / M.Ya. Borovskiy [etc.] // Questions of theory and practice of geological interpretation of geophysical fields: proceedings of the 39th session of the International scientific seminar named after Him. D.G. Uspenskogo, Voronezh, 30 S. on January 30 – February 2, 2012. – Voronezh : Voronezh state University, 2012. – P. 48–49.
5. Geophysical diagnostics of the squares of the probable spread of contamination in areas of existing oil enterprises / M.Ya. Borovskiy [etc.] // Environment Protection in oil and gas complex. – M. : VNIOENG. – 2012. – № 2. – P. 22–27.
6. Borovsky M.Ya. Possibilities of exploration Geophysics in solving geocological problems / M.Ya. Borovskiy, S.V. Shakuro, E.G. Fakhrutdinov // Development of geophysical methods from the standpoint of the First all-Union geophysical conference (1932) : materials of all-Russian scientific-practical conference (22–23 November 2012) / ed. V.I. Kostitsyn; Perm. state's. research. Univ. of Illinois. – Perm, 2012. – P. 31–34.
7. Electrical studies for determination of oil pollution in areas of oil field structures / M.Ya. Borovskiy [etc.] // Clean water. Kazan : proceedings of the IV International Congress «Clean water. Kazan», Kazan, on March 27–28, 2013. – Kazan : LLC «Chimes», 2013. – P. 69–71.
8. High-Precision gravimetric in conservation / M.Ya. Borovskiy [etc.] // Theory and practice of petroleum Geophysics : proceedings of the science. – Prak. Conf. with international participation, dedicated to the 90th anniversary of A.K. Urupov (21–22 November 2013) / chief editor V.I. Kostitsyn ; Perm. state's. research. Univ. of Illinois. – Perm, 2013. – P. 60–66.
9. Environmental impacts of the processes of development of hydrocarbons shale strata and geophysical methods of mapping and prediction // M.Ya. Borovskiy [etc.] // Oil. Gas. Innovations. – 2015. – № 2. – P. 74–77.
10. Geophysical forecasting of natural protection of shallow deposits of natural bitumen and heavy oils / M.Ya. Borovskiy [etc.] // Engineering Geophysics 2016. – Anapa, Russia, 25–29 April, 2016.
11. Borovsky M.Ya. Integrated geological and geophysical study of upper part of sedimentary cover / M.Ya. Borovskiy, A.S. Borisov, E.G. Fakhrutdinov. – Kazan : publishing house of Kazan. Univer., 2016. – 216 p.
12. Ibragimov R.L. Typing of the geological environment to assess the degree of protection of underground waters of the oil-regions / R.L. Ibragimov, M.Ya. Borovskiy, E.G. Fakhrutdinov // Oil. Gas. Innovations. – 2011. – № 2. – P. 6–9.
13. Leonenko M.V. Methods of assessment of karst danger of the territory by results of geophysical researches (by the example of the Nizhny Novgorod region) : autoref. Diss. ... kand. geol.- min. Sciences : 04.00.07 / Leonenko Mikhail Vasilyevich. – M. : PNIIS, 1996. – 23 p.
14. Lyakhovitsky F.M. Engineering Geophysics / F.M. Lyakhovitsky, V.K. Khmelevskaya, Z.G. Yashchenko. – M. : Nedra, 1989. – 252 p.
15. Assessment of the ecological-hydrogeological situation in the development of ultra-viscous oil fields by thermal methods / M.N. Mingazov [etc.] // Neft. Gas. Innovations. – 2011. – № 2. – P. 26–30.
16. Minnullin R.M. Technological aspects of ensuring the protection of spring waters from anthropogenic factors in oil production : Avtoref. Diss. ... candidate of technical Sciences : 03.00.16 / Minnullin Rashit Mardanovich. – Kazan : KSTU, 2009. – 19 p.
17. Monitoring of geological environment: active endogenous and exogenous processes // Proceedings of the First all-Russian conference. – Kazan : Publishing house of KSU, 2000. – 392 p.
18. Ogilvi A.A. Foundation engineering Geophysics / A.A. Ogilvy. – M. : Nedra, 1990. – 501 p.
19. Perekalin S.O. Experience of an integrated borehole-surface studies to evaluate the contamination of soils with petroleum / S.O. Perekalin, V.A. Istratov, S.I. Ostapchuk // Prospecting and protection of bowels. – 2004. – № 12. – P. 30–33.
20. Pirueta T.G. Remote search monitoring of urban areas and the natural environment / T.G. Pirueta, S.A. Sklovsky // Prospecting and protection of bowels. – 2006. – № 5. – P. 46–53.
21. Slepak Z.M. Geophysical monitoring at preservation of architectural monuments by the example of Kazan Kremlin-Kazan : Publishing house of Kazan University, 1999. – 176 p.
22. Slepak Z.M. Geophysics for the city. – M. : EAGO; Tver : GERS, 2007. – 240 p.
23. Faizullin I.N. Protection of natural resources and ensuring environmental safety of oil-producing regions / I.N. Faizullin, M.Ya. Borovskiy, E.G. Fakhrutdinov // Oil. Gaz. Innovations. – 2011. – № 2. – P. 31–36.
24. Exogenous geological processes on the territory of the Middle Volga region / E.G. Fakhrutdinov [etc.] // Hydrogeology and Kartoffelina : mezhvuz. Science work ; Perm. state's. issl. Univ. of Illinois. – Perm, 2013. – Vol. 19. – P. 238–246.



25. Khamidullin V.V. Efficiency of geophysical methods in identification of areas of pollution in the oil fields / V.V. Khamidullin, Z.L. Dorensky // Security and exploration. – 2000. – № 10. – P. 37–40.
26. Kharkiv K.S. Search for and delineation of lesions of salinization of groundwater ground techniques of electrical prospecting (on example of the oil-producing regions) : abstract of Diss. ... PhD : 04.00.06 / Kharkov Konstantin Stanislavovich. – SPb : Spbggi, 1998. – 21 p.
27. Shakuro S.V. application of geophysical methods in the study of man-made lenses of petroleum products // Exploration and protection of subsoil. – 2005. – № 8. – P. 24–26.
28. Shakuro S.V. Geophysical assessment of the areas contaminated with oil products in urban areas. Energy resource efficiency and energy saving in the Republic of Tatarstan / S.V. Shakuro, M.Ya. Borovskiy // Proceedings of X Intern. SIMP, Kazan, 1–3 December 2009. – Kazan : Publishing house Print shop of Onegin, 2009. – P. 202–212.
29. Shuvalov V.M. Study of karst areas and underground cavities by methods of electrical exploration: proc. the textbook for the course. – Perm, 1983. – 92 p.
30. Shuvalov V.M. Geophysical methods of research and interpretation of geophysical data. Integration of methods of Geophysics in solving problems of Geology, engineering Geology, hydrogeology and Geoecology: studies. the allowance / V.M. Shuvalov; Perm. state univer., 2010. – 160 p.
31. Geophysical exploration of wells as an effective tool of monitoring of the geological environment / G.E. Yakovlev [etc.] // Monitoring of the geological environment: active endogenous and exogenous processes : proceedings of the First all-Russian conference (10–15 Nov 1997). – Kazan : Izd-vo Kazansk. Univer., 2000. – P. 379–382.
32. Borovsky M.Ya. Ecological and geophysical forecasting of surface conditions of production sites of hydraulic fracturing / M.Ya. Borovsky, V.I. Bogatov, S.V. Shakuro // Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields. Ninth scientific readings in memory of Y.P. Bulashevich. Conference proceedings. Yekaterinburg : IGF UB RAS, 2017/ – P. 88–92.
33. Borovsky M.Ya., Methodical bases of preparation of oil fields for horizontal drilling / M.Ya. Borovsky, B.V. Uspensky, S.E. Valeeva // Horizontal wells 2017. – Kazan, Russia, may 15–19, 2017.