РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ МЕТОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ДЛЯ ПРЕСНОВОДНЫХ АКВАТОРИЙ

А. В. Казак, В. В. Калинин, М. Л. Владов

АННОТАЦИЯ. В статье приводится описание решения прямой задачи метода естественного электрического поля (ЕП, ПС) для пресноводных акваторий. Представлен алгоритм моделирования естественного электрического поля фильтрационного происхождения. Во введении кратко описывается суть метода ЕП, предпосылки его использования на пресноводных водоемах и обсуждается необходимость решения прямой задачи. В основной части излагаются краткие сведения о фильтрационных явлениях, приводится постановка задачи, обосновывается выбор основы для решения. Подробно описывается решение прямой задачи и алгоритма моделирования поля ЕП для зон фильтрации. Дается практический пример моделирования ЕП и сравнения его результатов с натурными наблюдениями. В заключении приведены преимущества и недостатки предложенного метода, а также возможные области применения результатов моделирования.

ABSTRACT. This paper describes forward problem solution for spontaneous potential (SP) method in freshwaters. The natural SP field modeling filtration algorithm is discussed. The paper contains an introduction into SP method principles, prerequisites for its use in freshwaters, asks for the solution of the available forward geophysical problem. The main part of the paper covers filtration processes. Also, it depicts a forward problem solution and modeling algorithm construction. A modeling example and comparison of its results to feield SP data are presented. In conclusion, advantages, disadvantages and application areas of the method are disscussed.

Введение

В земных недрах и их окружении существует множество разнообразных по природе и характеристикам электрических полей. Для изучения электрических полей от естественных источников был создан метод естественного электрического поля (метод ЕП или ПС). В начале он использовался для выявления сульфидных месторождений. Однако по мере развития область применения метода распространилась на месторождения графита, антрацитовых углей и магнетитовых руд [10]. Особняком от рудных стоит задача изучения физико-химических процессов, протекающих на водоемах, которые приводят к возникновению аномалий естественного электрического поля [7]. Среди них можно уверенно выделить следующие процессы: окислительно-восстановительные, вследствие которых возникают электрохимические (рудные) электрические поля; фильтрационные, которые служат предпосылкой для возникновения в среде потенциалов течения или фильтрационных потенциалов; диффузионно-адсорбционные, вследствие которых образуются диффузионно-адсорбционные электрические поля [11]. Работа, результат которой представлен в данной статье, касается второго после окислительно-восстановительного по значимости в геологии типа явлений - фильтрационных процессов на водоемах.

В наше время исследование фильтрационных явлений дна различных естественных и искусственных водоемов является актуальной задачей. Объясняется это существованием зон "нежелательной" фильтрации на дне водоемов, которые изменяют их первоначальные функции, а также нарушают экологическое равновесие с прилегающими к ним территориями. С этой позиции все искусственные водоемы можно разделить на те, попадание чего-либо в которые нежелательно (водохранилища), и те, утечки из которых являются крайне нежелательными (отстойники, пруды для сброса отработанной воды с АЭС). Естественные водоемы, особенно в крупных городах (р. Москва), нуждаются в усиленном контроле на предмет притоков, а также утечек [3]. Притоки жидкости могут вызвать загрязнение воды в водоеме, а утечки могут привести к активизации или увеличению интенсивности процессов выветривания на прилегающих территориях (образование карстов в г. Москве).

При решении данной задачи использование дистанционных геофизических методов, наряду с другими, позволяет повысить информативность и производительность работ. В качестве рабочего геофизического метода для решения поставленной задачи с успехом может быть использована модификация метода ЕП для водоемов. Основными аргументами в поддержку этого выбора яв-

ляются небольшая стоимость и высокая скорость проведения исследовательских работ, а также возможность исследования различных типов водоемов с различной конфигурацией дна. С использованием современной аппаратуры появилась возможность измерять градиенты естественного электрического поля порядка 10 - 100 мкВ, что позволяет с высокой степенью достоверности локализовать зоны аномалий естественного электрического поля в пространстве и после проведения надлежащего комплексирования данных уверенно выделять места притоков и утечек на дне водоемов.

Стоит отметить, что идея изучения естественного электрического поля на акватории не является новой. В 80-х гг. прошлого века изучением естественного электрического поля на р. Москве для решения инженерно-геологических и геоэкологических задач успешно занималась группа ученых отделения геофизики геологического факультета МГУ им. Ломоносова [2, 3, 6, 7]. Кроме научно-исследовательских работ, имеется и опыт практического применения данного метода, в т. ч. и за рубежом [1, 9]. В настоящее время к теме исследования естественного электрического поля от фильтрационных источников проявляется повышенный научный и практический интерес [12]. В свете новых достижений в электро- и вычислительной технике, бурного развития аппаратных и программных средств регистрации данных идея о реализации метода ЕП на новой и современной технической базе является интересной, свежей и перспективной.

Как во всяком геофизическом методе, и здесь особую роль играет решение прямой задачи. При этом создается геофизическая модель, в которую закладываются современные представления о среде и ее особенностях, а также о физической сущности изучаемого процесса. Несомненная важность решения прямых задач состоит в необходимости понимания процесса образования фильтрационных потенциалов, и с этой целью предпринята разработка алгоритма моделирования изучаемого физического поля. Данные, полученные в результате решения прямой задачи, необходимы для решения обратной задачи. Немаловажным результатом решения прямой задачи является выявление характера распределения физического поля. Это позволяет разработать оптимальную методику полевых наблюдений с точки зрения как затрат, так и сбора необходимых и достаточных данных для решения обратной задачи. В случае метода ЕП при решении прямой задачи необходим учет трех независимых факторов: геометрии среды, в которой образуются и имеют место естественные электрические поля, механизма распространения электрического поля в пространстве и механизма образования источников естественного электрического поля. В данной работе решается задача для плоскопараллельной среды, состоящей из трех слоев: слоя донных отложений, слоя воды, слоя воздуха. Электрическое поле рассчитывается по уравнениям, описывающим распространение стационарного электрического поля в однородной изотропной среде. За механизм образования источников поля берется механизм потенциалов течения (электрофильтрационный механизм), хорошо описанный в различных источниках [10, 11].

Сведения о фильтрационных явлениях

Фильтрационные явления на акваториях представляют собой перемещение жидкости по системе капилляров в горной породе, слагающей дно и борты рассматриваемого водоема. Конфигурация капиллярной сети слишком сложна для описания, поэтому возникает потребность в идеализации модели капилляра. Предлагается воспользоваться моделью Смолуховского - Гельмгольца для цилиндрического капилляра (рис. 1). Из теории следует, что при перемещении жидкости через капилляр возникает деформация двойного электрического слоя на внутренней поверхности капилляра, что приводит к появлению разности потенциалов на

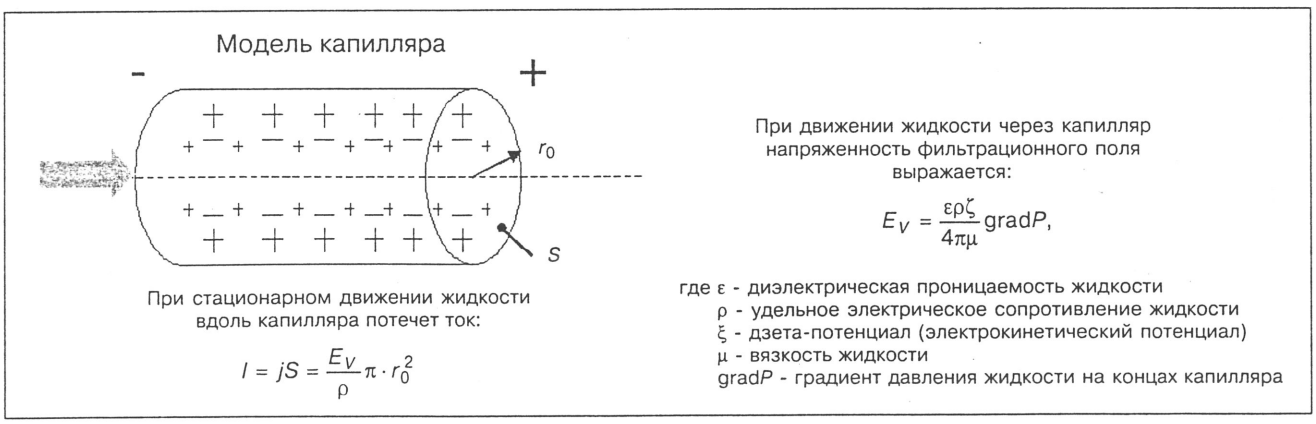

Рис. 1. Модель Смолуховского - Гельмгольца для цилиндрического капилляра

концах рассматриваемого капилляра. Напряженность фильтрационного поля находится по приведенной на рис. 1 формуле [10]. Отсюда видно, что напряженность поля зависит и от вещества стенок капилляра (дзета-потенциал), и от градиента давления жидкости в капилляре, и от свойств фильтрующейся жидкости. В данной модели капилляра авторы пренебрегают его естественной извилистостью, которую в будущем можно будет попытаться учесть.

Постановка задачи и основа для решения

Для решения прямой задачи необходимо построить макроскопическую электрическую модель водоема, а также найти решение для потенциала электрического поля на поверхности водоема при конкретных параметрах среды.

Известно, что модели водоемов могут существенно различаться как по геометрии, так и по физическим свойствам. Для того чтобы ограничить класс физических моделей водоема, в данной работе выбрана двумерная двухслойная модель водоема, состоящая из горизонтального слоя донных отложений, горизонтального слоя однородной воды и непроводящего воздушного верхнего полупространства.

В данной постановке необходимо решить задачу нахождения потенциала во всем пространстве для точечного источника тока, потенциал в котором задан. Для решения данной задачи авторами было использовано решение классической двумерной задачи электроразведки для электропрофилирования над дайкой, полученное А. И. Заборовским [4]. Потенциал в любой точке среды для данной модели находился в аналитическом виде для точечного источника тока методом решения уравнения Лапласа для потенциала электрического поля. Для полноты изложения далее будет приведено краткое описание решения задачи электропрофилирования над дайкой.

Итак, модель среды в постановке задачи А. И. Заборовского представлена на рис. 2. В данной модели жила с удельным электрическим сопротивлением ρ_2 ограничена от вмещающих пород с удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_3 вертикальными границами раздела (плоскостями), параллельными друг другу. Источник тока A находиться на расстоянии d от поверхности жилы P в среде с удельным электрическим сопротивлением ρ_1. Мощность жилы, т. е. расстояние между плоскостями P и Q, обозначается δ. При этом требуется найти потенциал естественного электрического поля в каждой из сред, разделенных плоскостями.

В процессе решения А. И. Заборовский получает конечное аналитическое представление для функций U_1, U_2, U_3, соответствующих потенциалу электрического поля в первой, второй и третей среде, в следующем виде:

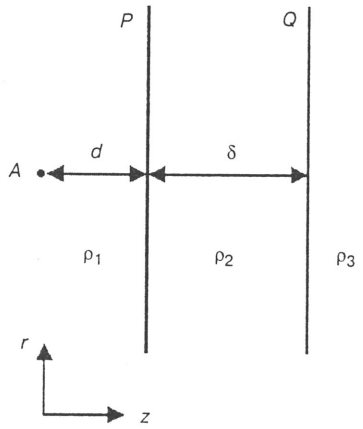

Рис. 2. Модель среды для решения задачи электропрофилирования над жилой

$$U_1(r,z) = q\left\{\frac{1}{\sqrt{r^2+z^2}} + \sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n \frac{k_{12}^{n+1}k_{23}^{n}}{\sqrt{r^2+[2(d+n\delta)-z]^2}} + \sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n \frac{k_{12}^{n}k_{23}^{n+1}}{\sqrt{r^2+[2d+2(n+1)\delta-z]^2}}\right\},$$

$$U_2(r,z) = q\left\{(1+k_{12})\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n \frac{k_{12}^{n}k_{23}^{n}}{\sqrt{r^2+(2n\delta+z)^2}} + (1+k_{12})k_{23}\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n \frac{k_{12}^{n}k_{23}^{n}}{\sqrt{r^2+[2d+2(n+1)\delta+z]^2}}\right\},$$

$$U_3(r,z) = q(1+k_{12})(1+k_{23})\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n \frac{k_{12}^{n}k_{23}^{n}}{\sqrt{r^2+(2n\delta+z)^2}},$$

где

$$k_{12} = \frac{\rho_2-\rho_1}{\rho_2+\rho_1}, \quad k_{23} = \frac{\rho_3-\rho_2}{\rho_3+\rho_2}.$$

Величины k_{12} и k_{23} представляют собой коэффициенты отражения тока от границ P и Q соответственно.

Решение прямой задачи

На рис. 2 изображена модель, для которой А. И. Заборовским были получены аналитические распределения потенциалов электрического поля. Для решения задачи отыскания поля потенциала на поверхности акватория авторами было предложе-

но модифицировать полученное А. И. Заборовским решение.

Прежде всего, для удобства восприятия, предлагается повернуть использованную в задаче электропрофилирования над дайкой систему координат на 90 градусов против часовой стрелки, оставив ее начало в источнике тока A. В результате получится требуемая модель водоема, описанная в начале и представленная на рис. 3. В данной модели поверхность P играет роль дна, а поверхность Q - поверхности воды. Проведем модификацию полученной модели для нахождения фильтрационного электрического потенциала на поверхности водоема. Для этого делается следующее:

1. Заглубление d источника тока A под дном водоема устремляется к нулю, потому как источники фильтрационного потенциала располагаются на поверхности дна водоема.

$$d \to 0.$$

2. Сопротивление третей среды, которая в нашем случае является воздухом, устремляем к бесконечности:

$$\rho_3 \to \infty.$$

Следовательно, можно сразу вычислить коэффициент отражения тока от поверхности воздух/вода:

$$\lim_{\rho_3 \to \infty} k_{23} = \lim_{\rho_3 \to \infty} \frac{\rho_3 - \rho_2}{\rho_3 + \rho_2} = 1.$$

3. Сопротивления ρ_1 и ρ_2 представляют собой удельные электрические сопротивления отложений дна и воды соответственно, т. е. $\rho_1 = \rho_b$ и $\rho_2 = \rho_w$.

4. Величина δ представляет собой глубину воды в водоеме.

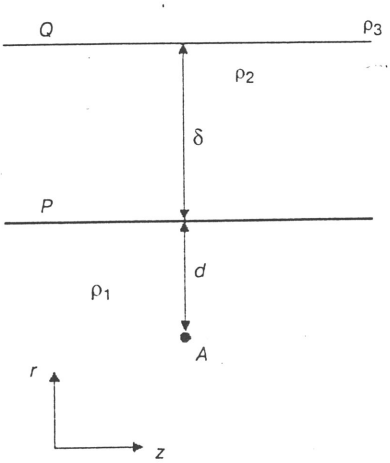

Рис. 3. Модель водоема для решения задачи нахождения электрического потенциала на поверхности акватории

Учитывая эти условия, можно изменить решение задачи электропрофилирования над дайкой, чтобы оно описывало распределение потенциала на поверхности воды. Для этого модифицируем функцию U_2 решения А. И. Заборовского, отвечающую за распределение потенциала электрического поля в дайке, с учетом данных условий. В результате получается решение для нахождения потенциала естественного электрического поля в любой точке водного слоя при источнике тока A, расположенном на поверхности дна водоема:

$$U_2(r,z) = q(1+k_{12}) \times$$
$$\times \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n k_{12}^n \left(\frac{1}{\sqrt{r^2 + (2n\delta + z)^2}} + \frac{1}{\sqrt{r^2 + [2(n+1)\delta + z]^2}} \right) \right\},$$

где

$$k_{12} = \frac{\rho_w - \rho_b}{\rho_w + \rho_b}.$$

Для нахождения потенциала электрического поля на поверхности воды пространственные координаты должны лежать в следующих пределах:

$$r \in (-\infty, \infty),$$
$$z = \delta.$$

В результате получен вариант распределения потенциала электрического поля на поверхности водоема при заданном положении источника тока и модели водоема. Эти зависимости можно использовать в качестве базы для моделирования потенциала электрического поля точечного источника на поверхности воды.

Алгоритм моделирования

Выше представлены все необходимые теоретические данные для создания алгоритма моделирования поля фильтрационного потенциала на поверхности водоема от некоторой зоны фильтрации, расположенной на дне рассматриваемого водоема. Однако прежде чем описывать алгоритм моделирования, следует определить источник фильтрационного электрического поля.

В дальнейшем под единичным эффективным источником тока авторы предлагают понимать некую квадратную область поверхности дна водоема, на которой расположены выходы капилляров зоны фильтрации дна водоема. Модель формирования такого эффективного источника тока представлена на рис. 4. При построении такой модели были приняты следующие существенные допущения о структуре порового пространства отложений дна водоема: все капилляры зоны фильтрации полагаются цилиндрическими и вертикаль-

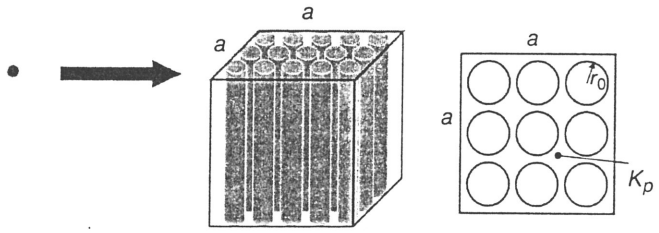

Рис. 4. Модель эффективного источника тока

ными (т. е. оси капилляров пересекаются под углом 90° с поверхностью дна водоема), с постоянным сечением по их длине; капилляры распределены равномерно в объеме породы; мощность отложений дна достаточно велика, а следовательно, и обратные выходы капилляров расположены на достаточной глубине, чтобы их потенциал можно было не учитывать в расчетах. Принятие данных допущений позволяет воспользоваться моделью Гельмгольца-Смолуховского для расчета потенциала, а следовательно, и тока на концах капилляров зоны фильтрации.

Для того чтобы описать эффективный источник, нужно задать размер стороны квадратной площадки a, коэффициент площадной пористости K_p и радиус единичного капилляра r_0. Зная эти параметры, можно вычислить число капилляров N, приходящееся на квадратную площадку:

$$N = \frac{a^2 K_p}{\pi r_0^2}.$$

После вычисления N необходимо округлить его до целого числа. Как упоминалось ранее, ток на конце единичного капилляра можно выразить как:

$$I_ = j_S = \frac{E_V}{\rho}\pi r_0^2,$$

где ρ - удельное электрическое сопротивление фильтрующейся жидкости. Напряженность фильтрационного поля, как было рассмотрено ранее, выражается следующим образом:

$$E_V = \frac{\varepsilon\rho\zeta}{4\pi\mu}P.$$

По приведенным зависимостям можно вычислить суммарный ток I, образующийся на рассматриваемой квадратной площадке поверхности дна водоема:

$$I = NI_ = Nj_S = N\frac{E_V}{\rho}\pi r_0^2.$$

Зная суммарный ток от единичного эффективного источника, можно воспользоваться выводом предыдущей части и вычислить потенциал фильтрационного поля по следующей формуле:

$$U(r,z) = q(1+k_{12})\times$$
$$\times\left\{\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n k_{12}^n\left(\frac{1}{\sqrt{r^2+(2n\delta+z)^2}}+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{1}{\sqrt{r^2+[2(n+1)\delta+z]^2}}\right)\right\},$$
$$r\in(-\infty,\infty),$$
$$z=\delta,$$

где δ - глубина воды, а величина q характеризует единичный эффективный источник:

$$q = \frac{I\rho_1}{2\pi}.$$

В этих выражениях ρ_1 - удельное электрическое сопротивление отложений дна, а коэффициент отражения тока от поверхности вода/дно равен:

$$k_{12} = \frac{\rho_w - \rho_b}{\rho_w + \rho_b}.$$

Вернемся к задаче создания модели зоны фильтрации на дне водоема и построения алгоритма моделирования поля ЕП. Для того чтобы задать зону фильтрации, нужно задать координаты и свойства эффективных источников, входящих в ее состав. В результате появляется возможность вычисления суммарного фильтрационного потенциала от всех эффективных источников в любой точке на поверхности водоема:

$$U(x,y) = \sum_{k=0}^{NS} U_k(r_k),$$

где NS - число эффективных источников, входящих в состав зоны фильтрации; $U_k(r_k)$ - фильтрационный потенциал k-го эффективного источника, находящегося на расстоянии r_k от точки наблюдения с координатами (x, y). Если эффективные источники зоны фильтрации имеют одинаковые свойства и заданы в виде множества $\{xs_i, ys_i\}$ координат на дне водоема, то суммарный потенциал в точке наблюдения на поверхности водоема с координатами (x, y) будет находиться следующим образом:

$$U(x,y) = \sum_{k=0}^{NS} q_k(1+k_{12})\times$$
$$\times\left\{\sum_{n=0}^{\infty}(-1)^n k_{12}^n\left(\frac{1}{\sqrt{r_k^2(x,y)+(2n\delta+\delta)^2}}+\right.\right.$$
$$\left.\left.+\frac{1}{\sqrt{r_k^2(x,y)+[2(n+1)\delta+\delta]^2}}\right)\right\},$$

где

$$r_k(x,y) = \sqrt{(x - xs_k)^2 + (y - ys_k)^2},$$

$$q_k = \frac{I_k \rho_b}{2\pi}.$$

Пример моделирования

В качестве иллюстрации работы предложенного алгоритма предлагается рассмотреть следующий пример. В процессе моделирования принимала участие квадратная зона фильтрации типа утечка с размерами 50 × 50 м. Удельные электрические сопротивления воды и дна полагались равными 30 и 100 Ом·м соответственно. Стоит отметить, что такие параметры довольно типичны для р. Москвы. Глубина воды в водоеме принималась равной 5 м, что соответствует средней глубине для хождения судов по р. Москве. Параметры эффективного источника для обеих зон фильтрации полагались одинаковыми: сторона квадратной площадки - 1 м; коэффициент площадной пористости - 30%; радиус единичного капилляра - 0,5 мм; электрокинетический потенциал, характеризующий капилляр, -0,06 В (одно из его возможных значений для кварцевого песка); градиент давления жидкости принимался гравитационным, т. е. вызванным лишь весом столба жидкости - 50 кПа/м. В процессе моделирования производился расчет градиента потенциала естественного электрического поля на базе 20 м вдоль профиля, пересекающего моделируемую зону под прямым углом.

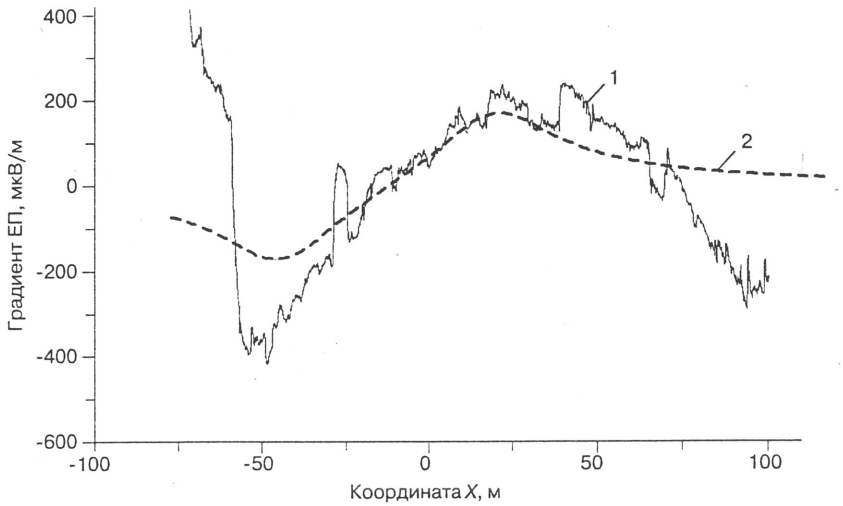

Рис. 5. Сравнение кривой градиента ЕП, наблюденной в ходе натурных наблюдений на реке (1), и кривой градиента ЕП, полученной в результате моделирования ЕП с помощью предложенного алгоритма (2)

Также на р. Москве авторами были произведены натурные наблюдения градиента ЕП на той же базе, 20 м. На рис. 5 представлено сравнение фактической кривой градиента ЕП, записанной в предполагаемом месте зоны утечки, которая, по мнению авторов, похожа на ту зону, что описана выше, с модельной кривой ЕП. Результат сравнения демонстрирует схожесть форм кривых и амплитуды градиента ЕП, однако имеются и некоторые различия, которые, по мнению авторов, связаны с наличием интенсивных техногенных помех и более сложной геометрией среды и зон фильтрации в природе.

Заключение

В статье описан алгоритм моделирования поля фильтрационного потенциала от произвольных зон фильтрации, расположенных на поверхности водоема. Среди преимуществ данного метода можно отметить простоту расчетов, возможность создания неоднородной зоны фильтрации, т. е. значения q_k эффективных источников, входящих в ее состав, могут быть различными, а также геометрию зоны фильтрации, т. е. взаимное расположение эффективных источников на дне водоема, можно задать практически любой в рамках данной модели. Недостатком данного метода является жесткое ограничение на геометрию среды, при котором результаты моделирования можно применять лишь к участкам реальных водоемов, находящихся вдали от берегов.

В результате решения прямой задачи появилась возможность создавать цифровые модели полевых записей. Следовательно, появилась возможность выбора оптимальной сети реальных полевых наблюдений, что позволяет разрабатывать эффективные методики съемки ЕП, данные о порядке измеряемых величин нужны для настройки измерительной аппаратуры, с помощью результатов моделирования можно производить обоснованный выбор базы, на которой следует измерять компоненты градиента естественного электрического поля при натурных наблюдениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бобачев А. А., Волков С. И., Коларов Д. Л., Модин И. Н., Мюллер А., Перваго Е. В., Шевнин В. А.*, 2004, Комплексные акваторные электроразведочные исследования в восточной части Германии: Разведка и охрана недр, **5**, 22 - 27.

2. *Богословский В. А., Огильви А. А.*, 1970, Электрометрические и термометрические исследования при изучении фильтрации из водохранилища в условиях распространения трещиноватых скальных пород: Гидрогеология и инженерная геология: Экспресс-информация. ВИЭМС, **16**, 1 - 11.

3. *Геологические проблемы Московской агломерации* : Сб. науч. тр. Под ред. Голодковской Г. А., Калинина А. В., 1991: М., Изд-во МГУ.

4. *Заборовский А. И.*, 1963, Электроразведка: М., Гостоптехиздат.
5. *Калинин В. В., Владов М. Л.*, 1993, Восстановление потенциала естественного электрического поля по данным измерения разности потенциалов установками произвольной длины: Вестник Московского ун-та. Сер. 4. Геология, **2**, 90 - 93.
6. *Калинин А. В., Калинин В. В., Кульницкий Л. М., Владов М. Л., Шалаева Н. В.*, 1996, Выявление зон экологически опасных процессов на акваториях методом естественного электрического поля: Вестник Московского ун-та. Сер. 4. Геология, **3**, 86 - 91.
7. *Калинин А. В., Калинин В. В., Владов М. Л., Мусатов А. А., Кульницкий Л. М., Кузуб Н. А., Шалаева Н. В.*, 1994, Комплексные геофизические исследования на реках и пресноводных акваториях применительно к задачам геоэкологии: Вестник Московского ун-та. Сер. 4. Геология, **2**, 9 - 17.
8. *Калинин В. В., Мусатов А. А.*, 1980, Выделение мест разгрузки и притока грунтовых вод путем измерения естественных электрических потенциалов на акваториях с движущегося судна: Инженерная геология, **1**, 118 - 121.
9. *Модин И. Н., Большаков Д. К., Бобачев А. А., Горбунов А. А., Волков С. И., Иванова С. В., Марченко М. Н., Шевнин В. А., Перваго Е. В.*, 2004, Вклад сотрудников кафедры геофизики в развитие малоглубинной электроразведки : Разведка и охрана недр, **5**, 18 - 22.
10. Семенов А. С., 1968, Электроразведка методом естественного электрического поля: Л., Недра.
11. *Семенов А. С., Новожилова М. Е.*, 1994, Естественные электрические поля Земли - природа и использование в геологии: Вестник СПбГУ. Сер. 7. **3**, **21**, 12 - 17.
12. *Титов К. В.*, 2003, Электрокинетические явления в горных породах и их применение в геоэлектрике : Дис... докт. геол.-минер. наук: СПб.

ОБ АВТОРАХ

Андрей Владимирович КАЗАК

Аспирант МГУ, окончил геологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов - инженерная геофизика, геоинформатика, геофизические исследования скважин.

Виктор Васильевич КАЛИНИН

Профессор МГУ им. М. В. Ломоносова, доктор физ.-мат. наук. Окончил МГУ. Область научных интересов - распространение электромагнитных и упругих волн в реальных средах.

Михаил Львович ВЛАДОВ

Заведующий кафедрой сейсмометрии и геоакустики МГУ им. М. В. Ломоносова, доктор физ.-мат. наук. Окончил МГУ им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов - комплексные геофизические исследования верхней части разреза.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО АГЕНТСТВА ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ
МПР РОССИИ
И ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ
С 1993 ГОДА

2.2007

Геофизика

РОС. НАУЧ. БИБЛИОТЕКА
им. Горького
МГУ
1 Гл

СОДЕРЖАНИЕ

Б. В. Ермаков, В. К. Киревичев, Т. Е. Ларина, А. Е. Шлезингер
Типы соляного тектогенеза юго-востока Прикаспийской впадины по данным сейсморазведки МОГТ 3

А. Г. Берзин, В. С. Ситников, С. А. Берзин, И. В. Рудых
О возможном подфундаментном источнике УВ в условиях Непско-Ботуобинской антеклизы 9

А. В. Баев, Н. В. Куценко, И. С. Файзуллин
О затухании и рассеянии сейсмических волн в трещиноватых средах 16

И. О. Грехов
Оптимизация сети наблюдений в 2D-сейсморазведке 21

А. И. Андреев
Быстрое двумерное преобразование Фурье 25

А. В. Ахияров, К. М. Мулявин, С. В. Гамов, С. Н. Распутин
Фациальное районирование продуктивных отложений по данным ГИС на стадии доразведки на примере пласта БТ 17-2 Русско-Реченского месторождения 30

Р. А. Резванов
Возможности выделения песчано-алевритовых коллекторов по данным ограниченных комплексов ГИС 43

А. В. Казак, В. В. Калинин, М. Л. Владов
Решение прямой задачи метода естественного электрического поля для пресноводных акваторий 49

Н. Е. Фоменко, Э. Г. Порфилкин, Н. Ю. Боровик
Электроразведочные методы пространственной фильтрации при изучении сложнопостроенных структур 56

Л. Г. Нерадовский
Электромагнитное изучение петрофизических характеристик льдистых пород Лено-Амгинского междуречья 63

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР Н.А. САВОСТЬЯНОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: Л.Д. Овчининская *(зам. главного редактора)*, **А.М. Блюменцев** *(зам. главного редактора)*, **А.А. Никитин** *(зам. главного редактора)*,.

В.Ю. Абрамов, И.А. Безрук, Г.Н. Боганик, М.Л. Владов, Е.А. Давыдова, М.С. Денисов, Г.М. Золоева, С.А. Кириллов, О. К. Кондратьев, А.С. Лаврик, И.А. Мушин, В.И. Петерсилье, Е.Е. Поляков, С.Н. Птецов, Б.С. Светов, С.А. Серкеров, В.П. Цирульников, Ю.К. Щукин

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ЕАГО:
Л.Д. Овчининская - *науч. и худож. редактор*
С.И. Козлова - *науч. редактор*
Москва, 117105, Варшавское шоссе, д. 4, корп. 2
Тел.: (495) 952-77-75, 952-47-15
Факс: (495) 958-34-33
E-mail: eago_publish@mail.ru
Свидетельство о регистрации журнала
№ 0110923 от 21.07.93 г.
ISSN 1681-4568

"ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЕРС": лицензия ЛР № 063997
В.Г. Зайцева, А.В. Титюченко - *компьютерная верстка*
Р.С. Калинина - *набор*
Н.В. Царева - *корректор*
170000, Тверь, ул. Новоторжская, 12Б
Тел.: (4822) 35-41-00, 34-40-29
Факс: (4822) 35-41-00
Отпечатано в типографии "Издательство ГЕРС":
лицензия ПД № 5-0012
тираж 1300 экз.

© Евро-Азиатское геофизическое общество, 2007