Санкт-Петербургский государственный университет

Институт Наук о Земле

Кафедра экологической геологии

**Курсовая работа**

***«Метод естественного электрического поля при опробовании водоносных горизонтов»***

Студентка 3 курса

Попутникова В.А.

Научный руководитель:

кандидат геол.-мин. наук,  
доцент Зеленковский П.С.

Зав. кафедрой:  
кандидат геогр. наук,  
доцент Федорова И.В.

Содержание

[Введение 3](#_Toc20489)

[1. Метод естественного электрического поля 5](#_Toc13476)

[1.1. Ток и потенциал течения 6](#_Toc16079)

[1.2. Методика измерения ЕП 11](#_Toc29385)

[2. Изученность вопроса 14](#_Toc12312)

[3. Перспективы дальнейших исследований 19](#_Toc14954)

[Заключение 20](#_Toc10979)

[Список литературы 21](#_Toc26775)

Введение

Подземные воды (классификация № 195 от 30.07.2007 года) делятся на питьевые (качество согласно СанПИН 2.1.4.1074-01), технические (химический состав должен соответствовать требованиям, предъявляемым к определенному назначению воды) и минеральные (химический состав согласно ГОСТ Р 54316-2011). Их запасы составляют 23 400 тыс. км3, доля которых равна 1,68 % от общих запасов воды, и условно возобновляются за средний период 1400 лет [8]. Для пресных подземных вод объем равен 10 530 тыс. км3, а доля в мировых запасах от запасов пресных вод составляет 28,7 % [8]. В целом видно, что запасы невелики, и на их возобновление уходит много лет. Антропогенная нагрузка постепенно растет, поэтому защита подземных вод важна. Существует большое количество литературы по гидрологии [8] и гидрогеологии [2, 17], где уделяется внимание охране подземных вод. К тому же разрабатываются новые более экологичные методы для гидрогеологических исследований.

Опытно - фильтрационные работы (опробования) являются основным видом гидрогеологических исследований. При проведении таких работ определяется структура фильтрационного потока, оцениваются гидродинамические и миграционные параметры водоносных и слабопроницаемых пород [2, с. 415], определяется химический состав природных вод.

К опытно - фильтрационным опробованиям, главным образом, относят наливы в шурфы и котлованы, откачки, наливы и нагнетания в скважины, индикаторные исследования, расходометрию скважин, отличающиеся методами исследования. В вышеперечисленных случаях необходимо бурение, как правило, нескольких скважин, что неблагоприятно сказывается на гидрогеологическом режиме подземных вод.

В результате роста использования населением подземных вод, увеличения масштабов промышленного и сельскохозяйственного производства наблюдается большой объем бурения разведочных и эксплуатационных скважин. Однако, на этапе опытно - фильтрационного опробования количество пробуренных скважин можно снизить до минимума, если при исследовании применять метод естественного электрического поля с густой частотой наблюдений. Таким образом, гидрогеологический режим естественного функционирования исследуемого водоносного комплекса подвергнется меньшему нарушению, будет снижена вероятность загрязнения подземных вод при опробовании. Более того, геомеханические (снятие и складирование плодородного слоя, сооружение технологических площадок) и биоморфологические (расчистка территории под буровую площадку) нарушения на этапе подготовки к бурению будут произведены в минимальном количестве точек. С экономической точки зрения снизятся затраты на подготовку и эксплуатацию буровых площадок, а также на дальнейшую рекультивацию территории. Оптимальное соотношение надежности, качества и средств, затраченных на проведение исследований, важно при решении любых задач, в том числе и при выборе сети профилей и точек наблюдения в методе ЕП.

Цель настоящей работы заключается в изучении возможности применения метода естественного электрического поля для детализации структуры фильтрационного потока.

Для достижения обозначенной цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучить основы метода естественного электрического поля фильтрационной природы.
2. Оценить состояние изученности данной тематики исследований.
3. Провести оценку перспектив дальнейших исследований.

# Метод естественного электрического поля

Известно, что в земной коре существуют естественные электромагнитные поля. Эти поля различаются по типу происхождения: окислительно-восстановительного, диффузионно-абсорбционного и фильтрационного.

Поля окислительно-восстановительного происхождения чаще исследуются в рудной геологоразведке и позволяют выполнять поиск и разведку залежей сульфидов, магнетита, графита [12]. Природа таких полей основана на окислительно-восстановительных процессах, разности потенциалов.

Поля диффузионно-абсорбционного происхождения наиболее изучены благодаря применимости в скважинных исследованиях [12]. Они связаны с зонами изменения солености грунтовых вод, а также с изменением литологии пород, их адсорбционными свойствами и влажностью.

Фильтрационные естественные электрические поля связаны с движением подземных вод в пористых горных породах. Своим происхождением естественные фильтрационные поля обязаны существованию двойного электрического слоя (ДЭС) на границе твердой и жидкой фаз горной породы, рассматриваемой в данном случае в качестве двухфазной системы. Фильтрационные естественные электрические поля дают ценную информацию о поведении подземных вод [11], так как зависят от ряда факторов: перепада давления в фильтрующем пласте, электрического сопротивления фильтрата, подстилающих и перекрывающих водопроводящий слой горных пород, а также структурных особенностей геологического пространства, в пределах которого реализуется процесс фильтрации.

Изучать естественные электрические поля можно с помощью метода естественного электрического поля (метод ЕП), который возник и развивался как метод поисков сульфидных месторождений [11]. Сульфидные месторождения являются электронными проводниками, также как и месторождения графита, антрацитовых углей, магнетитовых руд и другие месторождения. За полями такого вида закрепилось два названия — «электрохимические» (более широкий термин) и «рудные» поля. Помимо природных электронных полей, которые используются при решении поисково-разведочных и картировочных задач, выделяют поля иного происхождения. С одной стороны поля иного происхождения часто становятся помехой при поиске рудных полезных ископаемых, но с другой стороны они могут представлять огромный интерес при геологических, гидрологических исследованиях.

## Ток и потенциал течения

Рассмотрим случай двойного электрического слоя, когда твердая фаза заряжена отрицательно, а жидкая — положительно.

При фильтрации воды на контакте твердой и жидкой фазы горной породы на поверхности первой возникает избыток отрицательно заряженных частиц (анионов), в результате чего к данной поверхности из жидкой фазы начинают подтягиваться положительно заряженные частицы (катионы) и отталкиваться частицы противоположного знака (рис. 1а). Из-за этого молекулы жидкой фазы, которые представляют собой диполи, начинают ориентироваться своей отрицательно заряженной частью к положительно заряженным частицам, таким образом притягиваясь к поверхности твердого тела и образуя плотный слой. К этому слою притягиваются другие молекулы жидкой фазы, образуя диффузный слой, в котором молекулы сохраняют некоторую подвижность. Диффузный слой — это слой раствора с изменёнными концентрациями ионов вблизи поверхности. В статье Титова и Коносавского за 2014 год [14] представлена таблица (табл. 1) с данными расчёта толщины диффузного слоя, которые отражают, что в диапазоне минерализации, характерном для природных вод, толщина диффузного слоя не превышает десятков нанометров. Плоскость, разделяющая подвижную внешнюю среду от неподвижного граничного слоя, называется плоскостью скольжения (на рисунке 1а линия 0-d).

Таблица 1 ̶ Концентрация равновесной поровой воды и толщина диффузного слоя (для температуры 18°С) [7].

|  |  |
| --- | --- |
| Концентрация, г/л | Толщина ДЭС, нм |
| 100 | 0,231 |
| 10 | 0,731 |
| 1 | 2,31 |
| 0,1 | 7,31 |
| 0,01 | 23,1 |

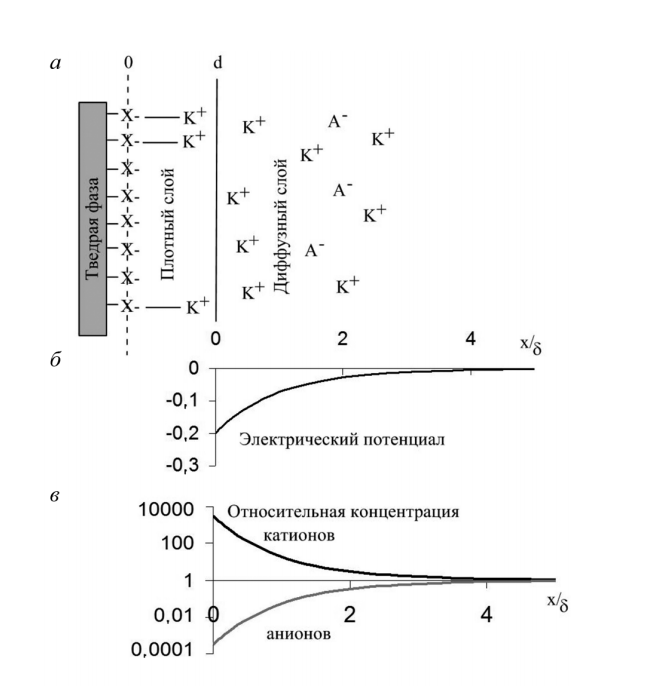


Рисунок 1 ̶ Схема строения двойного электрического слоя (а), распределение электрического потенциала (б) и относительной концентрации катионов и анионов в диффузной части (в) [14].

Классическая теория двойного электрического слоя или классическая теория Гуи — Чэпмена основана на идее подвижности ионов жидкой фазы. Электростатическое (кулоновское) притяжение их к поверхности и отталкивание ионов, заряженных одноименно с поверхностью, — уравновешивается тепловым движением ионов (диффузией), которое размывает поверхностные избытки. Развитие теории двойного электрического слоя характеризуется построением моделей разной сложности, но чаще используется модель Штерна. Поток жидкости через пористую среду может генерировать градиент электрического потенциала вдоль пути потока путем взаимодействия поровой жидкости с двойным электрическим слоем на поровой поверхности [19].

В диффузном слое наблюдается больше катионов, чем анионов. Такая разница в концентрациях порождает объемный электрический заряд в диффузном слое. Его можно рассчитать по формуле, зная концентрации катионов и анионов:

 (1)

Поток жидкости в результате гидравлического напора перемещается в сторону уменьшения давления (рис. 2) и сдвигает рыхло связанную воду как целое вдоль поры (рис. 3).

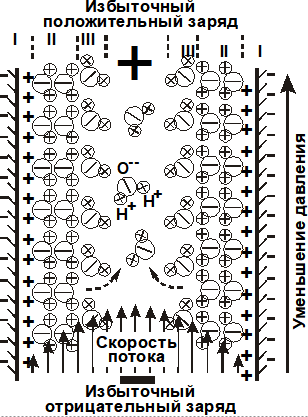


Рисунок 2 ̶ Фильтрационный механизм возникновения ЕП по данным с сайт лаборатории электроразведки кафедры геофизики Геологического ф-та МГУ им. М.ВА.Ломоносова [7].   
I - двойной электрический слой, II - прочно связанная вода, III - рыхло связанная вода.

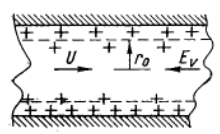


Рисунок 3 ̶ Схема образования фильтрационного поля в капилляре [11].  
U - направление движения жидкости в капилляре, E*v* - фильтрационное поле. Штриховыми линиями ограничена область движущейся жидкости.

Перемещение зарядов жидкостью, которые принимаются положительными, эквивалентно течению некторого тока *I+*. Движение в порах ламинарное, жидкость — вязкая, и скорость потока максимальна по оси поры. Эта скорость определяется формулой Пуайзеля:

 (2)

где rо и r — расстояния от центра капилляра до границы с неподвижным слоем и до точек, расположенных в подвижном слое, в которых определяется скорость; р — градиент давления в капилляре; μ — коэффициент вязкости жидкости.

В учебнике «Электроразведка методом естественного электрического поля» Семенова А.С. (1980 г.) [11] расстояние ∆r выбирается так, чтобы скорость *v* (формула 2) была равна средней скорости *v*0 движения зарядов в реальном капилляре. Если перенести все заряды на цилиндрическую поверхность, отстоящую от неподвижного слоя на расстоянии ∆r, получим ту же скорость движения зарядов и то же значение *I+*, что и при объемном распределении зарядов [11]. Предполагается, что общий заряд неподвижной части двойного электрического слоя распределен на границе с неподвижным слоем (на расстоянии rо от центра капилляра). Система из двух заряженных цилиндрических поверхностей (двойной слой Гельмгольца) справедливо рассматривается как цилиндрический конденсатор. В этом случае заряд обкладок выражается через емкость С, а разность потенциалов между обкладками ζ . Для единицы длины капилляра заряд вычисляется по формуле:

 (3)

отсюда следует, что течение тока *I+* с учетом формулы (2) равно:

 (4)

При постоянном потоке разделение зарядов устойчиво, поле существует долгое время. Для поддержания равновесия возникает обратный ток *I\_* , обусловленный напряжением Ev,

*I+* = *I\_* , ( 5)

а обратный ток *I\_* равен:

 (6)

где  *j\_* — плотность обратного тока; S — площадь поперечного сечения капилляра; *ρ* — удельное сопротивление жидкости.

Находим Ev из формул (4) — (6):

 (7)

Средняя скорость движения жидкости по капилляру *v*0 находится по формуле Пуайзеля:

 (8)

и тогда

 (9)

Таким образом, из формулы (9) видно, что фильтрационное поле прямо пропорционально диэлектрической проницаемости ε и удельному сопротивлению ρ жидкости, электрокинетическому скачку потенциала и средней скорости движения жидкости в капилляре и обратно пропорционально площади сечения капилляра. Зависимости, установленные для единичного капилляра с непроводящими стенками, сохраняются и для пористой среды [11].

В статье в статье Титова и Коносавского за 2014 год [14] по классическому уравнению Гельмгольца-Смолуховского, используя напор, записывается следующие уравнение:

 (10)

где ρB — плотность воды в капилляре, g — ускорение свободного падения, η — вязкость воды, σB — электропроводность воды, ΔU и ΔH — перепады напряжения и напора на границах капилляра соответственно.

Из уравнения, которое представлено выше можно вывести *c* — коэффициент потенциала течения, от которого зависит интенсивность естественного электрического поля:

 (11)

Отсюда видно, что между коэффициентом потенциала течения и электропроводности поровой влаги обратная пропорциональная зависимость, то есть можно отметить, что *с* будет иметь высокие значения при малой электропроводности воды. Небольшие значения электропроводности воды будут характерны для пресных вод.

* 1. Методика измерения ЕП

Метод естественного электрического поля (ЕП) достаточно прост с технической стороны и позволяет решить целый ряд геологических задач, которые другими методами электроразведки решаются с гораздо большими затратами. Этот метод отличается от других геофизических методов физической основой, поэтому появляется возможность обнаружить особенности геологического разреза, которые не в полной мере обнаруживаются другими методами. Метод ЕП является методом широких площадных съемок и должен применяться в комплексе с другими методами. Так, например, скважинные наблюдения по методу ЕП сопровождаются каротажем сопротивления и измерением температуры в скважинах [11].

При организации работ методом ЕП особое внимание обращается на наличие и характер электронных проводников, глубину грунтовых вод, условия фильтрации подземных вод и возможность возникновения фильтрационных полей, геоморфологическую обстановку, климатические условия и возможность в связи с ними образования «меняющихся во времени полей» и т. д [11].

Основной методикой измерения ЕП является способ потенциала [1], которая заключается в том, что при заземлении двух металлических стержней со специальным покрытием на расстоянии возникает разность потенциалов. Для измерения поля требуются два специальных неполяризующихся электрода, провод, и измеритель напряжения. Система с неполяризующимся электродом может выглядеть следующим образом: ёмкость с пористыми стенками заполняется медным купоросом, за счет которого осуществляется контакт с грунтом, и закрывается пробкой с вмонтированным медным электродом (рис. 4). При этом разность потенциалов между двумя электродами не будет превышать первых милливольт. Существуют неполяризующиеся электроды нового поколения на основе свинца и хлорида свинца, выпускающиеся во Франции компанией SDEC [14]. Они отличаются высокой стабильностью, слабой температурной зависимостью и позволяют уменьшить погрешность съемки ЕП. В качестве измерителя напряжения используют милливольтметры постоянного тока с высоким входным сопротивлением типа ЭРА или АЭ-72 [6].

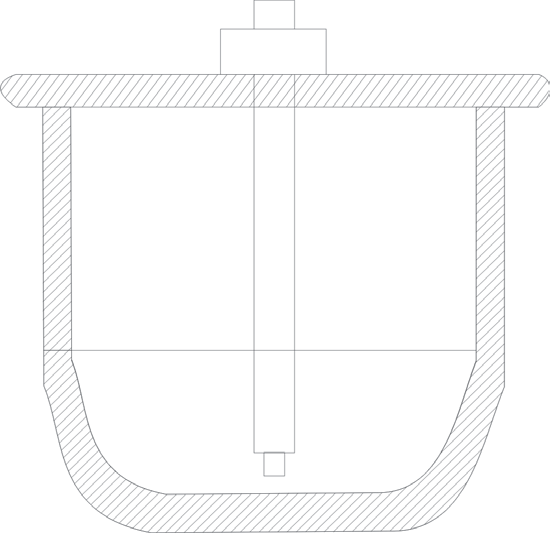


Рисунок 4 － Схема неполяризующегося электрода [1].

При проведении работ по измерению естественного электрического поля два неполяризующихся электрода погружают в грунт на определенном расстоянии и подключают к милливольтметру. Для работы выбирают электроды с наименьшей разностью потенциалов.

Можно выделить основные виды измерений ЕП:

* Съемка потенциала, при которой измеряются разности потенциалов между одной неподвижной точкой (нуль потенциала) и всеми точками изучаемого участка.
* Съемка градиента потенциала. При такой съемке оба измерительных электрода перемещаются по профилю или площади с сохранением постоянного расстояния между ними.

При съемках потенциала важно учитывать знак аномалии ЕП, так как это дает понимание геологической природы аномалий [6]. Чтобы получить правильный результат необходимо неподвижный электрод подключать к отрицательной клемме входа прибора, а подвижный, следовательно, к положительной клемме и сделать об этом пометку в журнале. Над крутопадающими телами сплошных сульфидных руд и разломами, сопровождающимися графитизацией, амплитуда аномалии ЕП может достигать несколько сотен милливольт, над вулканами — до 4 милливольт. Амплитуда аномалий фильтрационной природы в среднем составляет десятки милливольт [1].

В полевых условиях для снижения погрешностей при измерении разности потенциалов естественного электрического поля вводят поправки: в начале и конце работы измеряется электродная разность потенциалов (электроды рядом в земле) и повторно измеряется разность потенциалов на одной, обычно первой, точке профиля . При снятии замеров не удается измерить ЕП точнее 0.5 мВ, поэтому все замеры округляют до этой величины [6].

# Изученность вопроса

Считается, что Р. В. Фокс один из первых предположил о существовании земных электрических токов. В его работах была представлена информация об электрическом сопротивлении некоторых сульфидных минералов и окислов, а также отмечено, что используемый им метод возможно использовать для характеристики обогащенности рудных участков. Следующим этапом исследования земных электрических полей послужило обнаружение теллурических токов. Тогда впервые стали применять неполяризующиеся электроды [11]. Также проводились ранние исследования, связанные с изучением электрических и электрохимических свойств сульфидных минералов. Исследователи отмечали, что у сульфидных месторождений существуют собственные электрические поля. Однако, данные предположения не были достаточно обоснованы.

Появление метода естественного электрического поля связано с именем французского ученого К. Шлюмберже. В 1913 г. он обнаружил и исследовал естественное поле над пиритовой залежью на месторождении Сен-Беле [11].

В нашей стране первое применение метода естественного электрического поля связано с именем А.А. Петровского. Под его руководством были созданы неполяризующиеся электроды, проведены полевые работы, разработана методика и т.д.. В 1931 г. на реке Иртыш, а затем на реках Волга и Енисей были проведены первые работы, связанные с изучением оснований под плотины гидростанций [5]. Наряду с К. Щлюмберже А. А. Петровский по праву может считаться основоположником и создателем метода, так как тогда работы К. Щлюмберже широко не публиковались и все вопросы А. А. Петровский решал самостоятельно [11].

Метод естественного электрического поля постепенно развивался. Были обнаружены новые виды естественных электрических полей: «меняющиеся электрические поля» (1951 г.), фильтрационные, диффузионные и другие.

В 1951 году выходит книга А. П. Краева «Основы геоэлектрики» [5], которая дает единое и цельное изложение основных научных положений и обобщений фактического материала в области электрических процессов в Земле. В книге представлены две части: «естественные и постоянные активные поля в Земле» и «волновая геоэлектрика». В первой, в частности, подробно описываются естественные электрические локальные поля рудных объектов, контактов горных пород, фильтрационные поля, речные электрические поля и электрические поля горного рельефа с математическим обоснованием. В одной из глав А. П. Краев дает представление о фильтрационных полях и процессе их возникновения на примере системы капилляров, из которой он выделяет один капилляр. Он делает вывод, что фильтрационное электрическое поле определяется электрическими параметрами пористой породы *ε —*относительной диэлектрической проницаемостью жидкости (воды) и *ρ* — электрическим сопротивление пористой породы, потенциальным скачком, ее степенью пористости n и является пропорциональным скорости. Также следует отметить, что в его работе указана зависимость фильтрационного электрического поля от коэффициента «сквозности» породы, то есть при увеличении коэффициента «сквозности» фильтрационное электрическое поле возрастает.

В 1980 году выходит еще одна фундаментальная книга другого автора — А. С. Семенова «Электроразведка методом естественного электрического поля», которая уже конкретно освещает только вопрос естественных электрических полей. В данной книге есть глава, посвященная фильтрационным полям. В ней подробно описываются природа и условия образования фильтрационных полей и дается математическое обоснование. А. С. Семенов пишет как о фильтрационных полях с преимущественно горизонтальным направлением движения подземных вод, так и о полях с вертикальным направлением фильтрации, которые отмечаются в карстовых районах. В работе А. С. Семенова даются примеры наблюдения фильтрационных полей разными авторами. Например, А. П. Краев наблюдал такие поля в зоне вечных снегов на Эльбрусе, где градиент потенциала достигал 1 мВ/м с понижением потенциала в сторону вершины горы. Еще один интересный пример наблюдения фильтрационных полей связан с работами в карстовых районах, когда отрицательными аномалиями фиксировались места фильтрации вод в карстовые воронки и трещины.

Важно отметить практическое значение и использование исследований фильтрационных полей в гидрогеологии и инженерной геологии. Во-первых, А. С. Семенов подчеркивает важность применения данного метода в процессе и после заполнения водохранилищ водой, так как это дает возможность выявить места утечки воды и контролировать фильтрационные явления в процессе эксплуатации. Так, например, А. А. Огильви и В. А. Богословский проводили исследования фильтрационных процессов на Апаранском (Армения) и Керкиданском (Фергана) водохранилищах и выявляли утечки. Во-вторых, при возведении и эксплуатации плотин ведется контроль за происходящими в них фильтрационными процессами. В качестве примеров А. С. Семенов приводит описание работ, выполненных А. А. Огильви, В. А. Богословского и М. А. Аида по изучения фильтрационных полей на земляных плотинах Арданишского опытного полигона и Керкиданского водохранилища. В-третьих, при откачке подземных вод с помощью скважин или других водозаборных устройств в различных областях народного хозяйства в местах забора воды возникает мощный фильтрационный поток, который сопровождается интенсивным электрическим полем. Наблюдение данного поля позволяет оконтурить водосборную площадь и определить форму и глубину депрессионной воронки. Например, с помощью метода естественного электрического поля контролировалась откачка из скважин в радиусе 120-140 м, что позволяло следить за уровнем вод на одном из участков Араздаянской степи (Армения), так как высокое состояние вод являлось причиной засоления почв. В-четвертых, в результате фильтрационных процессов образуются карсты. Исследования естественных электрических полей над отдельными карстовыми проявлениями проводились многими авторами. Примером могут служить работы А. А. Смирнова на р. Сылве. В-пятых, с помощью наблюдения естественного электрического поля выявляются и оконтуриваются области инфильтрации поверхностных вод и места их разгрузки. Данный метод применяется при изучении оползней.

В начале 20-го века выходит статья Цунео Ишидо с соавторами «Численное моделирование электрокинетических потенциалов, связанных с подземным течением жидкости» [19]. В данной работе даны теоретические основы электрокинетического механизма генерации собственного потенциала, а также созданы численные модели потенциалов течения для подземных вод.

Начиная с 2000х годов выходит много статей К. Титова и П. Коносавского в соавторстве с другими исследователями. Так, 2002 году выходит работа К. Титова, Ю. Ильна, П. Коносавского и А. Ливитского [22], в которой исследуется электрокинетическая спонтанная поляризация (СП) в пористых средах. В статье теоретически описаны электрические источники СП, вызванные потоком подземных вод в насыщенных средах, а также для обеспечения последовательного численного моделирования как потока подземных вод, так и СП была создана 2D-компьютерная программа, основанная на методе конечных разностей.

В 2005 году публикуется работа К. Титова, А. Левитского, П. Коносавского, А. Тарасова, Ю. Ильнина и М. Буэса, в котором описывается совместное применение поверхностных геоэлектрических методов для моделирования потока подземных вод и приводятся результаты интерпретации и моделирования потока подземных вод.

В работе 2006 года исследователей Б. Суски, А. Ревиля, К. Титова, П. Коносавского, М. Вольца, К. Дейджеса и О. Хаттеля был проведен инфильтрационный тест с целью мониторинга развития пьезометрических уровней с использованием измерений собственного потенциала, сделанных на поверхность земли [21].

В 2007 году К. Титов, П. Коносавский и Ю. Ильин провели численные эксперименты по возникновению потенциала течения в пористой среде [15]. Было выявлено, что использование становления потенциала течения перспективно для оценки коэффициента пьезопроводности слабопроницаемых глинистых пород.

В 2014 выходит еще одна статья К. Титова и П. Коносавского, в которой дается обзор теории естественного электрического поля (ЕП), возникающего при фильтрации подземных вод через горные породы и грунты, а с помощью математической формулировки, приведенной в статье, возможно численное моделирование ЕП фильтрационного происхождения [14]. Более того, в данной работе приведены примеры применения ЕП при откачках из скважин и показано, что по результатам интерпретации ЕП могут быть получены данные о фильтрационных параметрах водоносных горизонтов (коэффициент фильтрации, детализация пьезометрической поверхности водоносного горизонта).

В 2015 выходит работа К. Титова, П. Коносавского и М. Нарбута, посвященная численному анализу сигналов естественного электрического поля при откачке в слоистом водоносном горизонте [23]. Авторы получили отсутствие линейной связи между сигналами естественного электрического поля и распределением напора подземных вод. Однако после обработки данных путем построения зависимостей на определенные моменты времени (начало, середина и конец откачки), авторы получили согласованное поведение потенциала и напора. Значение понижения уровня подземных вод начинает уменьшаться, когда около 30% воды поступает в основной водоносный горизонт из вышележащего водоносного слоя. Сигналы потенциалов отреагировали на переток из смежного горизонта быстрее, чем распределение напора. Соответственно, можно предполагать, что сигналы электрического поля имеют большую чувствительность к перетеканию воды, чем гидродинамические.

В 2017 году теми же авторами в соавторстве с А. Мэйно проводится численное исследование отклика естественного электрического поля на откачку [20]. В результате проделанной работы, авторы получают, что сигналы СП сильно различаются в зависимости от материала обсадной колонны.

Статью 2018 года К. Титова и П. Коносавского «Интерпретация данных естественного электрического поля с учетом несовершенства водозаборных скважин (модельные представления)» [4] можно считать наиболее современной на время написания данной курсовой работы. В статье освещается вопрос несовершенства водозаборных скважин по степени вскрытия фильтром водоносного пласта. Авторы рассматривают возможности интерпретации ЕП при опробовании несовершенных гидрогеологических скважин и оценивают чувствительность ЕП к степени несовершенства таких скважин. Ими была поставлена задача, которая решалась с использованием программного кода GWFGEM — Ground Water Flow Geo-Electrical Mapping (Titov et al., 2015). В конце были приведены результаты исследований и сделаны следующие выводы:

1. Потенциал ЕП чувствителен к степени несовершенства водозаборной скважины по степени вскрытия пласта фильтром.
2. Закономерности развития ЕП в пласте зависят от материала обсадки скважины.
3. Для коротких фильтров (Ɩф/m±1/5m) связь между ЕП и понижением в пласте нелинейная. С увеличением длины фильтра зависимость стремится к линейной.

Подводя итог, можно сделать вывод, что метод естественного поля является довольно молодым и недостаточно изученным, но, несмотря на это, находит широкое применение. Он позволяет изучать фильтрационные поля, определять места утечки воды, контролировать фильтрационные явления. Решение таких вопросов является важным, ведь оползни, карсты, водохранилища и скважины — все это требует изучения и контроля для предотвращения чрезвычайных ситуаций и увеличения эффективности работы, в случае водохранилищ и скважин.

# 

# 3. Перспективы дальнейших исследований

В качестве перспективы дальнейших исследований рассматривается проведение полевых экспериментов, которые будут заключаться в проведение опытно-фильтрационных опробований водоносных пластов и измерении естественного электрического поля, порождаемого потоком подземных вод. Также планируется дополнительное изучение данной тематики по литературным источникам. Дополнительно планируется проведении серии численных экспериментов по моделированию естественного электрического поля, порождаемого потоком подземных вод. При успешном проведение полевых экспериментов планируется численное моделирование полученных данных с последующим выявлением закономерностей и сопоставлением результатов полевого и численного экспериментов.

# Заключение

В данной курсовой работе были рассмотрены перспективы применения метода естественного электрического поля для детализации структуры фильтрационного потока. Для этого изучены основы метода естественного электрического поля фильтрационной природы, оценена степень изученности данного вопроса и выявлены перспективы дальнейших исследований. Следует отметить, что данная тематика является недостаточно изученной и имеет большой потенциал.

Изучение фильтрационных полей с применением метода естественного электрического поля дает возможность проводить опробования водоносных горизонтов более рационально как с экономической, так и с экологической точек зрения.

# Список литературы

1. Аплонов С . В ., Титов К . В . Геофизика для геологов . Учебник . СПб .: Изд - во СПбГУ , 2010. – 248 с.: ил.
2. Всеволожский, В.А. Основы гидрогеологии: Учебник. — 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2007. — 448 с.
3. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 33 с.
4. Коносавский П.К., Титов К.В. Интерпретация данных естественного электрического поля с учетом несовершенства водозаборных скважин (модельные представления) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2018. Т. 63. Вып. 4. С. 533–543. https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.408
5. Краев А. П. Основы геоэлектрики. Л.: Недра, 1965. — 587 с.
6. Метод естественного электрического поля (ЕП). Аппаратурно-методический практикум по курсу электроразведки. [Электронный ресурс] /Сайт Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова Геологического ф-та; — Режим доступа: <http://geophys01.geol.msu.ru/STUDY/2KURS/ep_web/EP1.HtM>, свободный. (Дата обращения: 15.02.2020 г.).
7. Метод естественного электрического поля [Электронный ресурс] /Сайт лаборатории электроразведки кафедры геофизики Геологического ф-та МГУ им. М.ВА.Ломоносова; — Режим доступа: <http://geophys.geol.msu.ru/STUDY/3KURS/3k.html>, свободный. (Дата обращения: 11.02.2020 г.).
8. Михайлов В.Н. Гидрология: Учебник для вузов/ В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. —М.: Высш. шк., 2007. — 463 с.: ил.
9. Об утверждении Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. (утв. Министерством природных ресурсов РФ от 30 июля 2007 г. № 195) [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации; - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902057116>, свободный. (Дата обращения: 19.03.2020 г.)
10. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (утв. главным гос. санитарным врачом РФ от 26 сентября 2001 г. № 24, о введении в действие санитарных правил с изменениями на 2 апреля 2018 года) [Электронный ресурс] / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации; - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901798042>, свободный. (Дата обращения: 19.03.2020 г.)
11. Семёнов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. — 3-e изд., перераб. И доп. — Л.,: Недра, 1980 г. — 446 с.
12. Сенчина Н. П. Естественные электрические поля электрокинетической природы гатчинских источников / Н. П. Сенчина, В. Касумов // Международный научно-исследовательский журнал. — 2019. — № 7 (85) Часть 1. — С. 47—54.
13. Тархов А.Г. О Геоэлектрическом поле фильтрации // Известия АН СССР, географии и геофизики. 1946. — Т. 10. —№5. — С. 463—468.
14. Титов К. В., Коносавский П. К. (2014). Применение естественного электрического поля при откачках из скважин (обзор). Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: геология, география, сер 7(4), 52-63.
15. Титов К. В., Коносавский П. К., Ильин Ю. Т. Становление потенциала течения в пористой среде: численный эксперименты. Исследовано в России, 2007. С. 139-149.
16. Фридрихсберг Д.А., Курс коллоидной химии. Ленинград, изд. «Химия», 1984 г., с. 178-226.
17. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология: Учебн. для вузов — М.: Недра, 1996. — 423 с: ил.
18. Bogoslovsky V., Ogilvy A., 1970a. Application of geophysical methods for studying the technical status of earth dams. Geophysical Prospecting. Volume 18, Issue Supplement s1, pages 758–773, December.
19. Ishido T, Pritchett JW, 1999. Numerical simulation of electrokinetic potentials associated with subsurface fluid flow. Geophys. J. Res 104:15247–15259.
20. Pavel Konosavsky, Alexis Maineult, Mikhail Narbut, Konstantin Titov. Self-potential response to periodic pumping test: a numerical study. Geophysical Journal International, Oxford University Press (OUP), 2017, 210 (3), pp.1901-1908.
21. Suski, B., A. Revil, K. Titov, P. Konosavsky, M. Voltz, C. Dage`s, and O. Huttel (2006), Monitoring of an infiltration experiment using the self-potential method. Water Resour. Res., 42, W08418, doi:10.1029/2005WR004840.
22. Titov K., Ilyin Yu., Konosavski P., Levitski A. Electrokinetic spontaneous polarization in porous media: petrophysics and numerical modelling. Journal of Hydrology, 2002. Volume 267. Issues 3-4 P. 207-216.
23. Titov K., Konosavsky P., Narbut M., Pumping test in a layered aquifer: numerical analysis of self-potential signals. Journal of Applied Geophisics, 2015. №123. P.188-193.