

**МЕТОДОЛОГИЯ
И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

УДК 624.131

**РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
НА ПРИМЕРЕ НОВОДЕВИЧЬИХ ПРУДОВ**

© 2008 г. **В. В. Калинин, А. В. Казак, А. В. Старовойтов**

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
геологический факультет, кафедра сейсмометрии и геоакустики*

Поступила в редакцию 7.12.2007 г.

После исправления 24.01.2008г.

Приводятся результаты комплексных геофизических исследований, включающих радиолокацию, метод естественного электрического поля, термометрию и резистивиметрию в водном слое. Комплексная интерпретация этих данных позволила определить мощность и объем современных осадков на дне прудов, определить местоположение и тип фильтрационных процессов, а также оценить площадь их развития. Результаты исследований позволяют сделать вывод о существовании подземного притока вод в Большой Новодевичий пруд в период проведения исследований.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Москве проводятся широкомасштабные мероприятия по изучению экологической обстановки акваторий города. Цель этого масштабного проекта – прогнозирование инженерно-геологической обстановки и реабилитация “неблагополучных” в экологическом отношении объектов [16].

Исследование процессов, протекающих в пределах искусственных водоемов, особенно расположенных в крупных городских агломерациях, всегда связано с рядом проблем [5]. Сложность решаемых задач определяется их разнообразием и, как правило, необходимостью проведения крупномасштабных исследований на каждом объекте, что требует больших временных и материальных затрат.

Среди задач, которые требовалось решить в рамках этого проекта на акватории V Новодевичьих прудов и прилегающей к ним территории, можно выделить следующую группу: выяснение наличия фильтрационных процессов, уточнение планового положения зон фильтрации, определение объемов фильтрации через дно прудов. Дополнительно необходимо было определить мощности и объем донных отложений. Для решения первой группы задач были использованы относительно независимые, но взаимно обусловленные методы измерения потенциалов естественного электрического поля (ЕП), термометрия и резистивиметрия. Вторая группа задач решалась с использованием метода радиолокации, известного широкому кругу специалистов в сфере наук о Земле под названием георадиолокация. Геологическая основа для проведения исследований была

любезно предоставлена авторам ЗАО “Центр практической геоэкологии О плюс К” (ЦПК).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Известно, что протекание жидкости через пористую среду вызывает появление электрического поля, определяемого скоростью фильтрации и физико-химическими свойствами фильтрующегося флюида и пористой среды [17].

Многолетний опыт геофизических исследований по методу ЕП показывает, что в определенных геолого-геофизических ситуациях удается дистанционным способом определить характеристики фильтрационных процессов [1, 2, 10, 11, 13, 15]. Для получения количественных параметров в методе ЕП необходимо знание электрического сопротивления среды, в которой протекают фильтрационные процессы и производятся измерения [17]. Эта величина, в свою очередь, достаточно чувствительна к температуре [8]. Очевидно, что данные резистивиметрии и термометрии могут напрямую использоваться в качестве диагностических признаков и индикаторов, чувствительных к интенсивности фильтрационных процессов и минерализации фильтрующейся воды.

В настоящее время для изучения верхней части геологического разреза широко используются радиолокационные исследования [4]. Практически единственной модификацией такого рода исследований является “метод t0”, когда источник и приемник электромагнитных импульсов геометрически совмещены друг с другом. Как следствие, определение мощности слоев может быть сделано только при известном значении скорости распространения электромагнитных волн в изучаемой

мой среде. Данный метод, по своей идеологии, полностью идентичен эхолокации и локации с использованием полей любой природы.

Комплексирование указанных выше методов потенциально позволяет определить геометрические характеристики разреза, такие как глубина воды, мощность слоев и их пространственную конфигурацию, а также характеристики гидрогеологических процессов, протекающих в толще пород. Подобные работы, хотя и эпизодически, проводятся в настоящее время [3].

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА

Величины напряженности ЕП в естественных условиях лежат в диапазоне от нескольких десятков микровольт на метр до нескольких сотен милливольт на метр и относительно редко выходят за границы этого диапазона. При исследовании в промышленных районах основные проблемы измерительного характера связаны с блуждающими токами, потенциалами катодной защиты, электрическими утечками из промышленных сетей, перекрывающими диапазон частот от нуля до первых сотен герц. При стационарных наблюдениях для подавления помех используют методы фильтрации, накопления и т.д. При работе в движении по необходимости приходится расширять полосу пропускания до частот, определяемых требуемой пространственной разрешающей способностью. При измерении напряженности ЕП и потенциала ЕП абсолютные значения сигналов могут отличаться на порядки, поэтому к динамическому диапазону измерительного устройства предъявляются достаточно высокие требования. Если стабильность временных характеристик электронных блоков измерительной аппаратуры не связана с особыми трудностями, то главной помехой при измерениях методом ЕП является кратковременная и долговременная стабильность измерительных электродов.

Диагностическими признаками гидродинамической обстановки являются как абсолютное значение температуры, так и ее градиент. Вариация абсолютных значений температуры в естественных условиях может составлять 15-20°C, в то время как температурные аномалии, связанные с фильтрационными процессами, могут составлять сотые доли градуса [6]. Как следствие, устройство измерения температуры должно иметь широкий динамический диапазон (2-3 порядка) и высокую чувствительность.

Следующий информативный и самостоятельный (по мнению авторов) диагностический признак – электрическое сопротивление жидкости. Для естественных пресноводных акваторий диапазон удельных сопротивлений варьирует в пределах 2-4 раз, а в искусственных водоемах, осо-

бенно в развитых городских агломерациях, удельное сопротивление может меняться в 10 и более раз. Необходимая чувствительность измерителя сопротивления для выделения фильтрационных процессов, в которых участвуют воды приповерхностного стока, должна составлять не менее 2-3% от абсолютного значения сопротивления.

Для исследований методом ЕП, резистивиметрии и термометрии использовался специализированный аппаратно-программный комплекс, разработанный авторами. Для измерения естественных потенциалов применялся четырехканальный усилитель постоянного тока с полосой пропускания 0-9 Гц. Коэффициент усиления устанавливается для каждого канала по отдельности и может принимать 6 значений, равномерно распределенных в диапазоне 70-530. Каждый из каналов может работать как в режиме дифференциального включения входных сигналов, так в моно-режиме. Режим дифференциального включения позволяет уменьшить уровень синфазных помех до 1000 раз в диапазоне частот до нескольких сотен герц. Принципиальная схема усилителя подробно описана в работе [13]. Измерительная аппаратура также позволяет проводить исследования при непрерывном движении.

Для измерения потенциалов ЕП контактным методом использовались неполяризующиеся электроды конструкции авторов на основе солевого моста на переходе электрод-окружающая среда. В лабораторных условиях естественный "дрейф" собственного нуля электродов не превышал 200 мкВ/ч и имел преимущественно линейный характер. При натуральных наблюдениях совокупный уход нуля измерительного тракта (измерительные электроды и усилитель) составил не более 3 мВ/ч.

Измерение температуры проводилось контактным способом посредством терморезистора, заключенного в тонкостенный медный корпус. Диапазон измеряемой температуры 3-35 gEf с чувствительностью ~0.04°C. Ввиду большого значения постоянной времени терморезистора, время измерения на каждой точке в среднем составило ~ 2-3 минуты.

Электрическое сопротивление жидкости измерялось коаксиальной двухэлектродной электрохимической ячейкой проточного типа на частоте 5.7 кГц. Выходной величиной измерителя сопротивления являлся модуль комплексного сопротивления раствора [12].

Все измерительные каналы были согласованы с входным импедансом и диапазоном напряжений аналогоцифрового преобразователя Е-330 фирмы L-Card, сопряженного с ПК типа notebook по параллельному интерфейсу.

Со стороны ЭВМ аппаратно-программный комплекс замыкала программа для комплексной

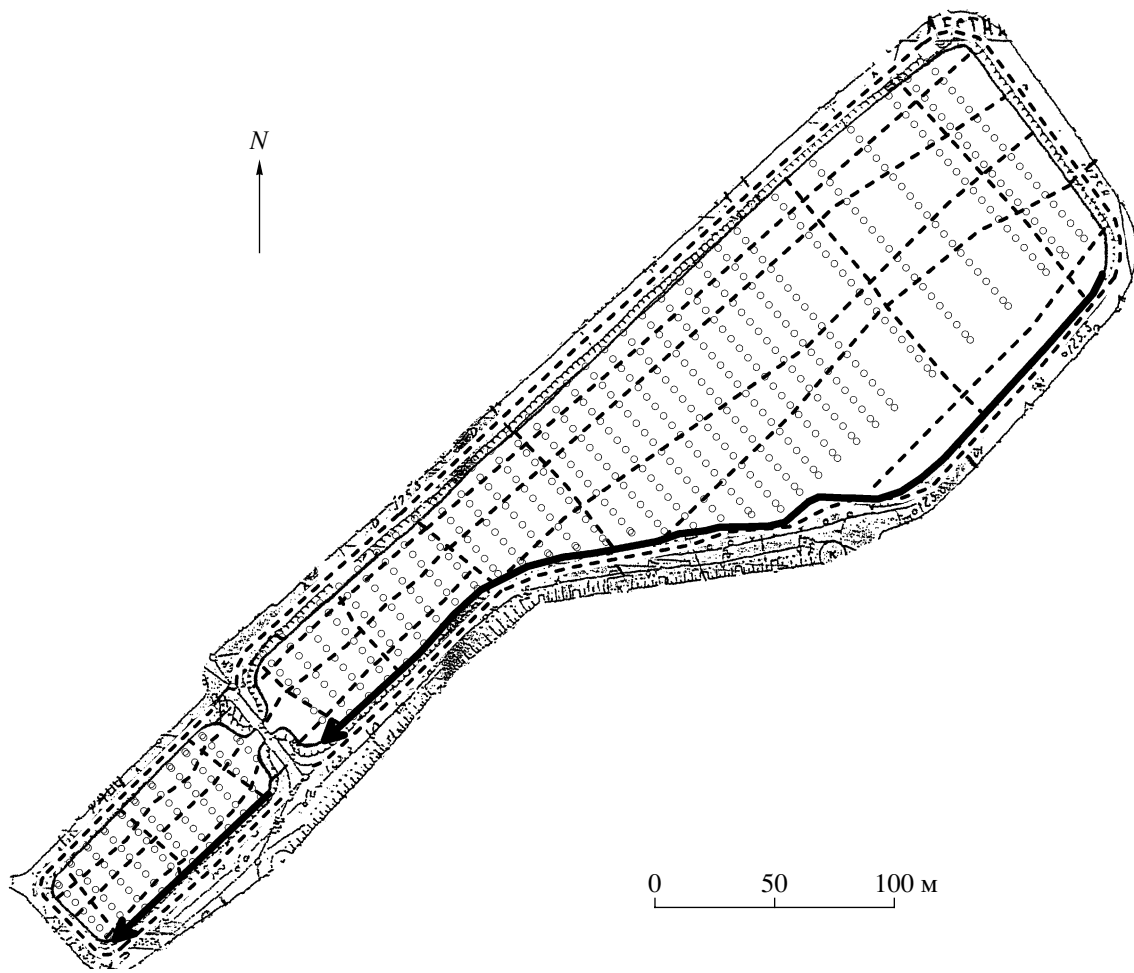


Рис. 1. Карта фактического материала в районе исследования. Условные обозначения: пунктирные линии – радиолокационные профили; пустые кружки – точки измерения потенциала ЕП; жирные линии – профили термометрии и резистивиметрии (начало профиля обозначено стрелкой).

регистрации геофизических данных, разработанная авторами. Программа обладает интуитивным и простым для пользователя интерфейсом и возможностью отображения регистрируемых параметров в режиме реального времени. Этот аппаратно-программный комплекс был использован для регистрации данных ЕП, резистивиметрии и термометрии при натуральных измерениях на Новодевических прудах в период с 29.08.07 по 12.09.07.

Аппаратурная реализация радиолокационных исследований была основана на промышленно выпускаемом устройстве “Зонд 12e”, производства фирмы “Radar Systems Inc.”, г. Рига, Латвия; работы велись на частоте 300 МГц.

Измерения элементов естественного электрического поля проводились на поверхности воды по прямоугольной сетке через 5 м по профилю с расстоянием между профилями в юго-западной и центральной области района работ 10 м и в северо-восточной области района работ 15 м (рис. 1). Масштаб съемки определялся рекогносцировоч-

ным характером проводимых работ. Профили прокладывались с помощью теодолита, расстояние между точками наблюдения по профилю отмерялось с помощью маркеров на кабеле. Абсолютная погрешность привязки точек наблюдения составила ± 0.5 м. Измерения велись методом потенциала: один электрод (нулевой) фиксировался в заданной точке близ уреза воды, а второй электрод перемещался по точкам наблюдательной сети. Контроль за точностью измерений проводился в контрольных точках с плотностью 2-3 точки на профиль. Невязка при контрольных измерениях составляла от 0.1–3 мВ. В связи с тем, что длина каждого из озер превышала максимальную длину измерительного кабеля, измерения проводились по нескольким полигонам, стыковка которых осуществлялась по перекрытиям. В связи с тем, что дно прудов было покрыто строительным мусором и остатками древесной растительности, измерительные электроды размещались вблизи поверхности воды на глубине до 15 см. Темпе-

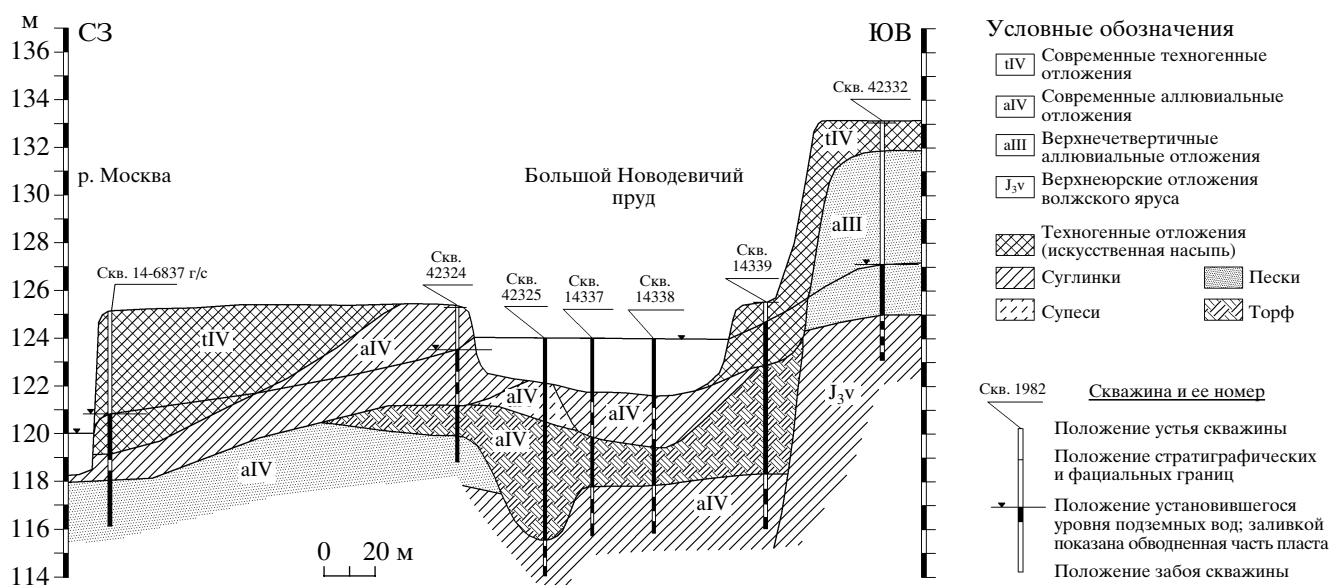


Рис. 2. Схематический геолог-литологический разрез по линии, перпендикулярно пересекающей Большой Новодевичий пруд в его северо-восточной части (по данным ЗАО

ратура и сопротивление воды измерялись с шагом 5 ± 0.5 м вдоль восточных берегов прудов (рис. 1) на урезе воды. Необходимо отметить, что все температурные измерения были выполнены в течение ~ 5.5 ч 12.09.2007 с 10:00–15:30 в облачную безветренную погоду.

Радиолокационные исследования на Новодевичьих прудах производились с резиновой лодки и на суше вдоль берега. Запись велась на открытом канале. Учитывая, что донные отложения сложены сильно водонасыщенными осадками, а “скорость” распространения электромагнитных волн пропорциональна диэлектрической проницаемости, в первом приближении скорость считалась постоянной. Разрешающая способность по глубине для всей площади водоема оценивается ~ 10 см. Благодаря наличию в донных осадках малоразмерных контрастных объектов в ряде случаев удалось оценить скорость распространения электромагнитных волн по форме годографов дифрагированных волн. Плановая привязка точек наблюдения проводилась с помощью системы GPS с абсолютной погрешностью ± 3 м. Схема расположения радарных профилей представлена на рис. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно данным геоморфологического районирования, любезно предоставленным авторам компанией ЦПГ, участок изысканий расположен в основании склона древнеаллювиальной (Мневниковской) террасы. Общий уклон местности направлен в сторону русла р. Москвы, на северо-запад. Наиболее крутой склон терраса имеет на се-

веро-восточном берегу Большого Новодевичьего пруда. Сами по себе “Новодевичьи пруды” являются фрагментами старицы р. Москвы.

Ранее на исследуемой территории был пробурен ряд скважин. Геологическое строение участка до глубин 8-10 м представлено на Рис. 2. Верхняя часть разреза, согласно данным ЦПГ, сложена комплексом современных отложений (Q_{гв}) разнообразного генезиса и состава: водонасыщенный ил и торф; суглинки с прослоями песка; влажные и водонасыщенные пески от пылеватых до гравелистых; техногенные отложения: пески, супеси, местами суглинки с содержанием гравия, щебня, обломков кирпича, бетона, шлака и другого строительного мусора. Судя по данным материалам, распределение петрофизических свойств осадков имеет мозаичный характер в плане, а по глубине, скорее всего, характеризуется градиентной структурой без резко выраженных перепадов как упругих, так и электрических характеристик.

Указанные особенности геологического строения верхней части разреза нашли отражение на радарограммах. Границы, выделяемые радаром, как правило, прослеживаются фрагментарно, интенсивность отраженных волн изменяется в значительных пределах, а на отдельных участках с большим трудом удается проводить корреляцию даже границы вода–дно (рис. 3). Подобный характер радиограмм имеет место как на записях водной глади пруда, так и на записях прибрежной части прудов.

На ряде участков вдоль берега прудов наблюдается резкое изменение спектрального состава радарограмм, выражающееся в резком сдвиге

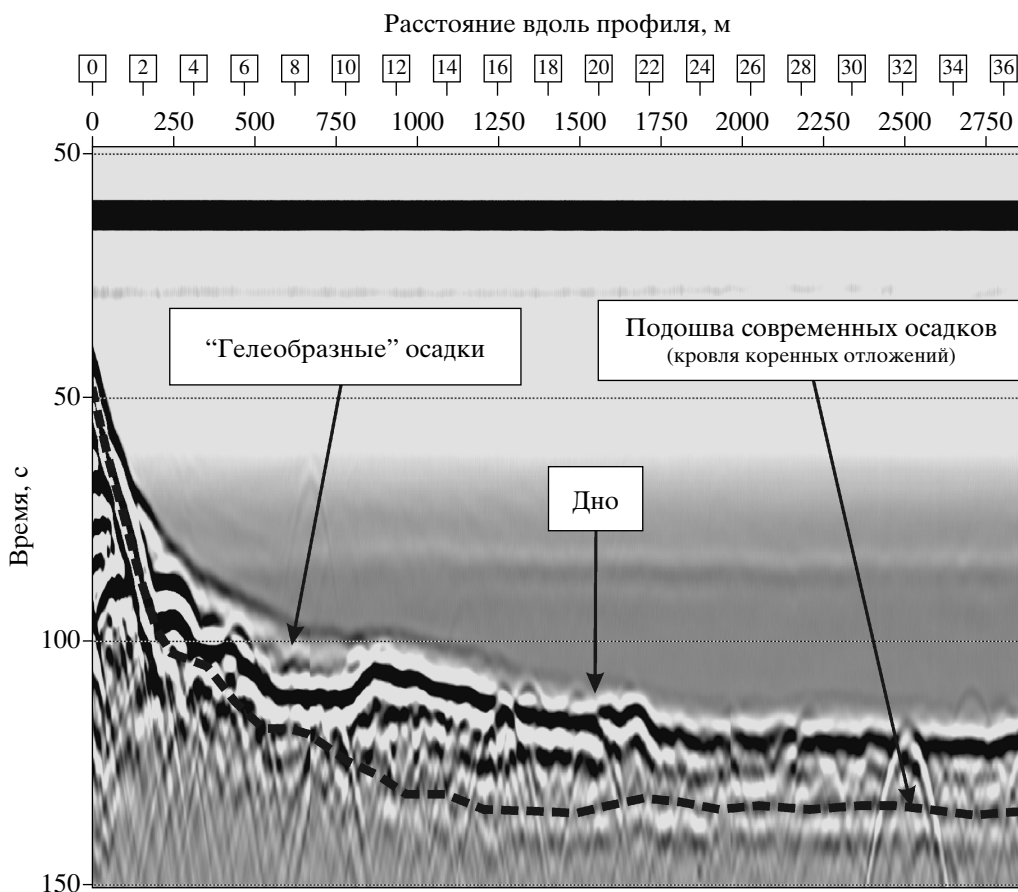


Рис. 3. Пример типичной радарограммы, полученной при съемке на поверхности воды.

спектра в сторону низких частот. По мнению авторов, такие особенности волновой картины в электромагнитном поле связаны с возникновением нелинейных явлений в гетерогенных средах в мощном электромагнитном поле, характерном для “георадара”. В количественном отношении максимум спектра принимаемого сигнала сдвинулся в область 40 МГц относительно частоты зондирующего сигнала 300 МГц (рис. 4). Там, где обнаруживается низкочастотная составляющая на радарограмме, не менее резко должна быть выражена динамика акустического поля. В случае, когда дно слагается газонасыщенными илами, в акустическом поле должны появиться комбинационные частоты, которые потенциально позволяют определить степень газонасыщенности [14]. Такого рода эффекты, по опыту авторов, являются хорошим картировочным признаком при выделении зон повышенного увлажнения. Для регистрации данного эффекта, который авторы ожидали обнаружить, регистрация сигнала и велась на открытом канале приемной аппаратуры.

В предположении о том, что скорость электромагнитных волн в осадках составляет 6 см/нс,

а в воде 3.3 см/нс, по измеренным временам вступлений волн, отраженных от целевых горизонтов, была определена глубина воды (рис. 5), глубина залегания подошвы

современных отложений и мощность современных отложений на всей площади Новодевичьих прудов (рис. 6). Максимальные глубины воды отмечены вдоль длинных осей Большого и Малого Новодевичьего прудов и составляют ~ 2 м. Кровля коренных четвертичных пород в пределах прудов представляет собой практически ровную поверхность на глубине в среднем 2.5 м. Следует подчеркнуть, что на многих участках в кровле коренных отложений выделяются многочисленные объекты, которые на радарограммах характеризуются наличием признаков дифрагированных волн. Можно высказать предположение о том, что коренное дно может быть сложено крупнообломочными отложениями. На большей части пруда средняя мощность современных осадков равна 80 см. Участки с максимальными мощностями (до 120 см) локализованы и имеют слегка вытянутую или изометричную форму в плане. В толще верхнего слоя наблюдаются также многочисленные объекты, дающие дифракцию (это

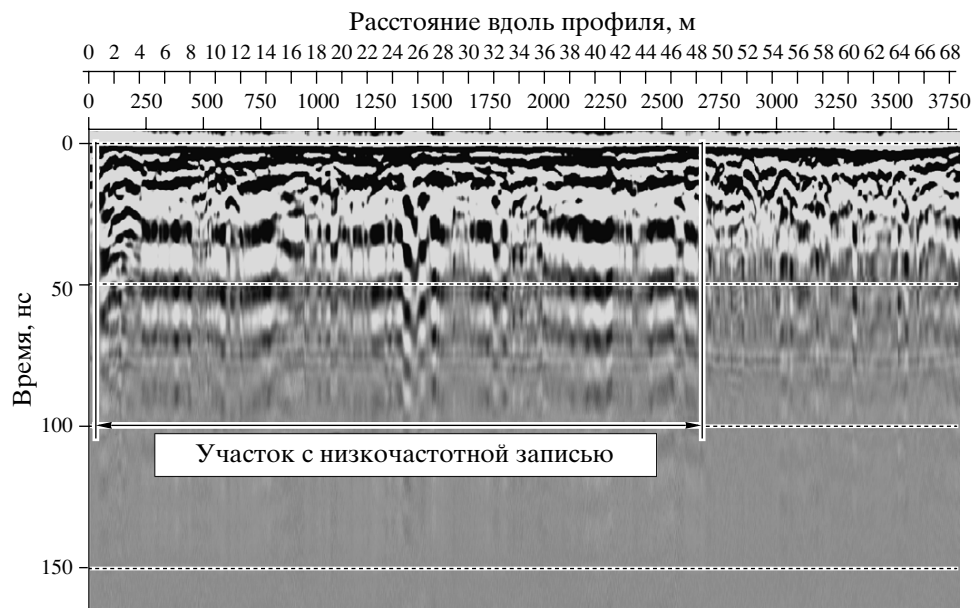


Рис. 4. Пример радарограммы, сделанной на одном из береговых профилей, которая содержит явно выраженную низкочастотную составляющую.

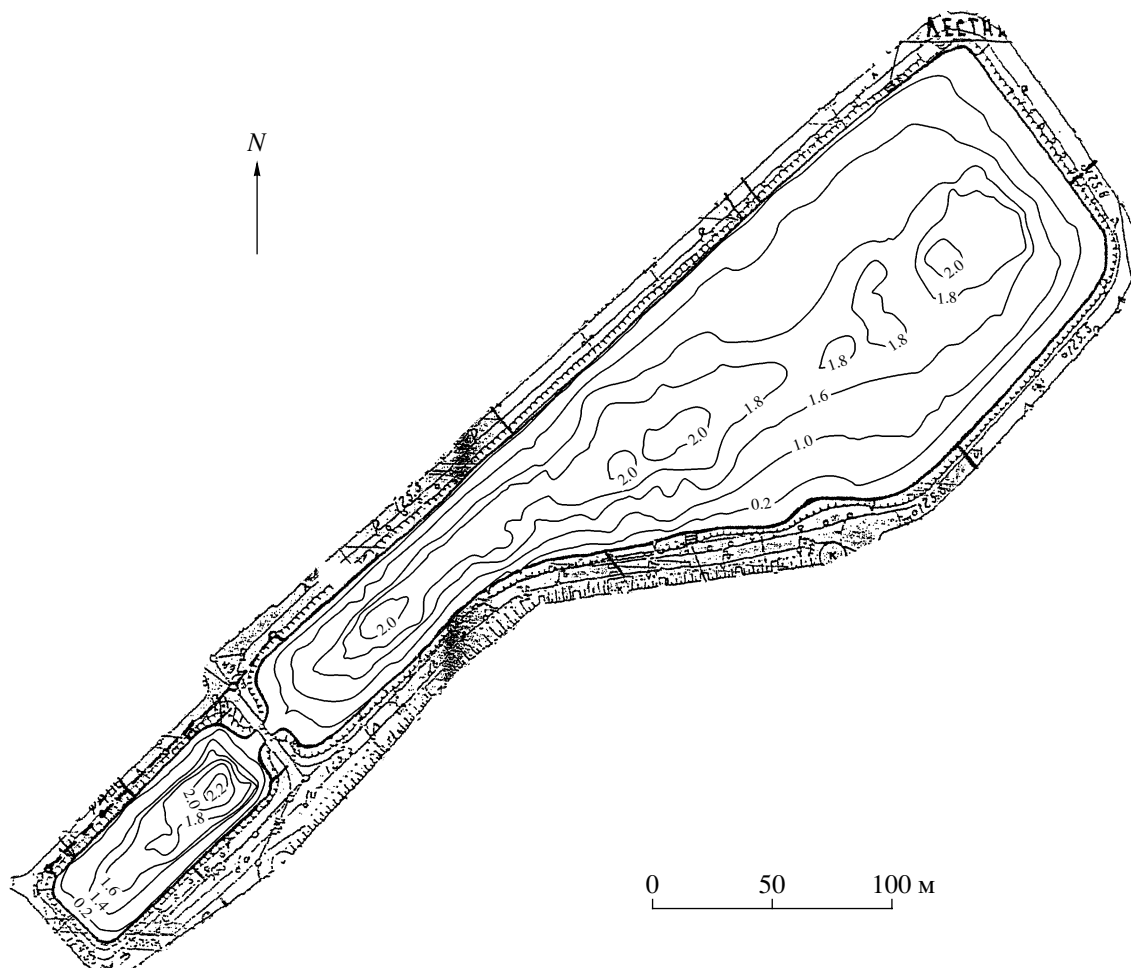


Рис. 5. Батиметрическая карта Большого и Малого Новодевичьих прудов по радиолокационным данным. Шифр изолиний – метры.

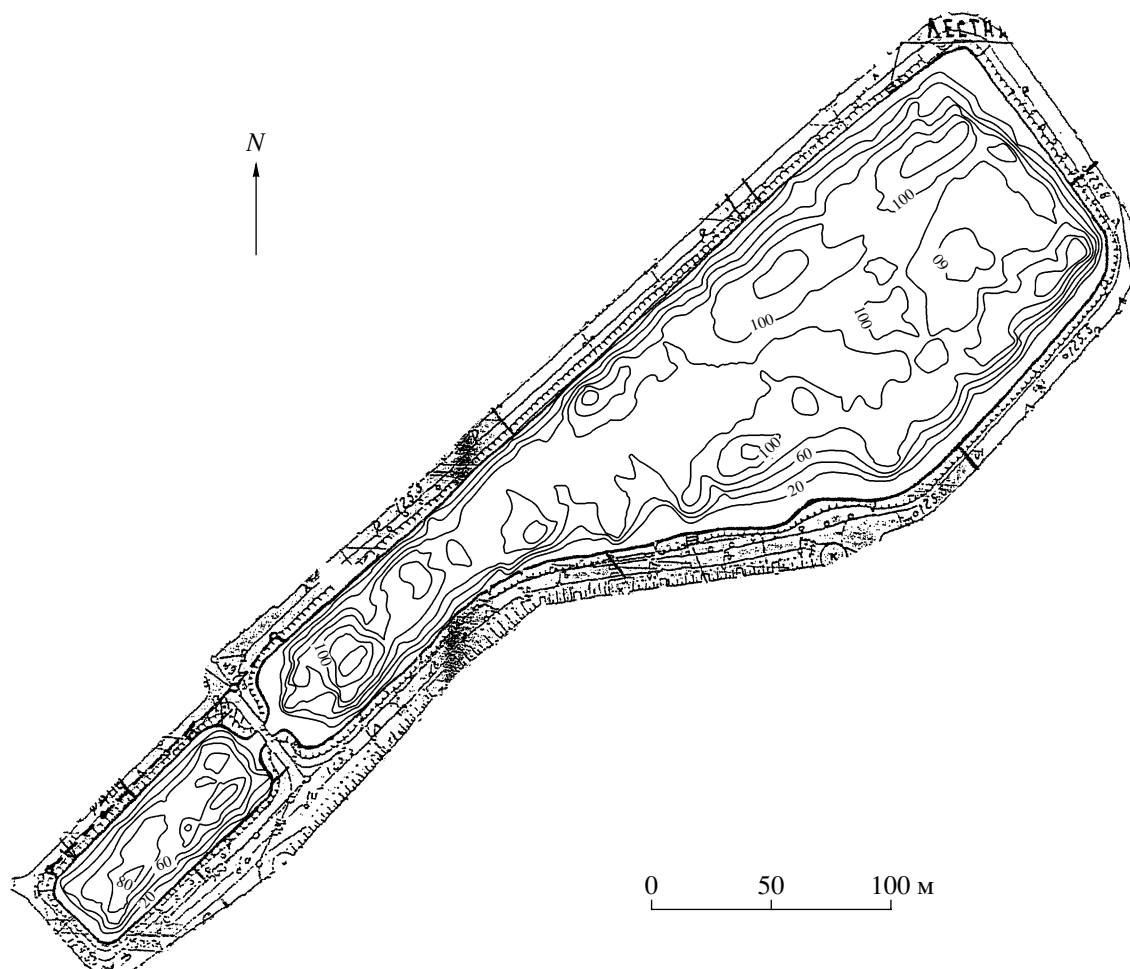


Рис. 6. Карта изопакит современных осадков (верхнего комплекса) Большого и Малого Новодевичьих прудов. Сечение изолиний 20 см.

могут быть крупные валуны, обломки строительных конструкций, стволы деревьев и т.п.). Общий объем современных осадков (верхнего комплекса) оценивается величиной ~17000 м³ (1000 м³ Малом пруду и ~16000 м³ в Большом пруду).

Погрешность определения глубин складывается из погрешности в значениях и погрешности определения времени пробега волн. Скорость электромагнитных волн в пресной воде известна с точностью не хуже 2-3%, в то время как скорость в осадках может варьировать в пределах до 10%. Но, по-видимому, существенная доля погрешности связана с определением времен вступления сигналов в условиях градиентного разреза. Авторы полагают, что значение предельной относительной погрешности определения глубины в отдельных точках равно 15%. При подсчете объемов воды и современных отложений относительная погрешность, осредненная по площади водоемов, не выходит за пределы 10%.

На основании фондовых материалов 20-30-летней давности была сделана оценка гидрогео-

логической обстановки, которая за последнее время могла в сильной мере измениться за счет накопления осадков техногенного происхождения, а также за счет изменения инженерно-геологической ситуации в районе. Согласно данным ЦПГ, на исследуемой территории в пределах поймы на глубинах 1.7–5.7 м и в пределах древнеаллювиальной террасы на глубинах 5.8–8.1 м распространены подземные воды основного надъюрского водоносного горизонта, включающего в себя следующие комплексы (рис. 2):

- нижняя часть толщи техногенных грунтов, преимущественно песчаного состава;
- аллювиальные песчано-глинистые отложения четвертичного возраста;
- пески и песчаные прослои в кровле верхнеюрских отложений.

Водоупором служат плотные верхнеюрские глины. Питание горизонта инфильтрационное, горизонт безнапорный, колебания уровня грунтовых вод в естественном режиме в среднем состав-

ляют 0.8–1.0 м. При этом существует возможность техногенного влияния на уровенный режим грунтовых вод (например, переток вод в горизонт из коммуникаций). Поток грунтовых вод направлен с юго-востока и востока к прудам. Другим источником питания прудов являются атмосферные осадки.

Устаревшие фондовые данные, а также сложность инженерно-геологической ситуации в окрестности Новодевичьих прудов породила две противоположные точки зрения у специалистов-гидрогеологов на наличие фильтрации в пруды. Согласно одной из них, пруды связаны с основным водоносным горизонтом и питаются его водами. В поддержку этой позиции говорят результаты гидродинамического моделирования и величины напоров, полученные специалистами ЦПП на основе фондовых данных. Приверженцы другой точки зрения считают, что пруды по большей части изолированы от подземных вод, а питаются лишь поверхностным стоком и атмосферными осадками. В пользу этой гипотезы приводится следующий довод: дно прудов перекрыто непроницаемым для подземных вод экраном сильно заиленных осадков. Также было замечено, что характер растительности, покрывающей пруд, не соответствует проточному режиму последнего. В связи с возникшими разногласиями была сделана попытка выяснить наличие фильтрационных процессов через дно Новодевичьих прудов с помощью комплекса дистанционных геофизических методов: ЕП, термометрии и резистивиметрии.

На рис. 7 представлен результат обработки данных метода естественного поля. Согласно представленным данным, Малый Новодевичий пруд характеризуется небольшими градиентами потенциала ЕП, в то время как на Большом Новодевичьем пруду наблюдается сильная положительная аномалия с абсолютными величинами до 50 мВ. Эта аномалия располагается в северо-восточной части Большого Новодевичьего пруда и предположительно связана с относительно большим притоком воды в озеро в этом месте.

Для определения количественных параметров фильтрационных процессов был предложен метод [9] и создана программа для решения обратной задачи способом интерактивного подбора. В основу метода и программы положено представление о вертикальном направлении фильтрации, горизонтальной плоскости границы вода - дно и отсутствии влияния берегов водоема. Эти предположения лимитируют точность количественных построений, а в ряде случаев позволяют получить лишь оценку искомым величинам. Результаты моделирования показали, что площадь развития фильтрации не менее $\sim 70000 \text{ м}^2$. Невозможность указать более определенные значения этой величи-

ны связана с предположением о вертикальной фильтрации и расположением аномалии вблизи берега. Также была произведена оценка скорости фильтрации по величине аномалии ЕП. Однако в результате расчетов получились неестественно большие для изучаемого района скорости фильтрации через дно Большого Новодевичьего пруда ($>0.1 \text{ м/сут}$). Последний факт может быть связан с существованием в пределах пруда других, отличных от фильтрационных, источников естественного электрического поля. Учитывая небольшую глубину (1.5–2 м) и застойный режим пруда, авторы связывают зарегистрированную аномалию ЕП с возможным наличием окислительно-остановительных процессов на дне пруда. Однако, как будет показано ниже, совокупность данных радиолокации, термометрии и резистивиметрии, позволяет утверждать, что значительная доля зарегистрированных потенциалов ЕП связана с фильтрационными процессами.

Расположение зон повышенного увлажнения по периметру прудов, полученное по данным радиолокации, в северо-восточной части Большого Новодевичьего пруда в целом совпадает с положением аномалии ЕП (рис. 7).

На рис. 8, 9 представлены результаты обработки данных термометрии и резистивиметрии. Согласно представленным данным, Малый Новодевичий пруд характеризуется аномалией температуры на расстоянии 25–30 м от начала профиля с величиной в 11 ЕС и примерно постоянным фоновым удельным электрическим сопротивлением воды $\sim 47 \text{ Ом м}$. На Большом Новодевичьем пруду отмечается постепенное повышение температуры в северном и восточном направлении с 11.5 до 14°C и небольшое понижение удельного электрического сопротивления воды с 55 до 45 Ом м. Данные аномалии располагаются в северо-восточной части Большого Новодевичьего пруда и предположительно связаны с притоком в озеро воды с повышенной температурой и пониженной минерализацией в этом месте. Принимая во внимание большие величины (единицы градусов Цельсия) и небольшие размеры аномалий абсолютных значений температуры (первые десятки метров) на некоторых участках обоих чувствительных профилей (рис. 8, 9), а также учитывая время и погодные условия термометрической съемки, авторы делают вывод об отсутствии связи полученных аномалий с процессами нагревания воды и теплопереноса в пруде. Судя по данным резистивиметрии, минерализация воды в прудах понижена по сравнению с минерализацией воды в р. Москве. Согласно полученным результатам авторы склоняются в пользу гипотезы о существовании подземного притока вод в Большой Новодевичий Пруд в период проведения исследований.

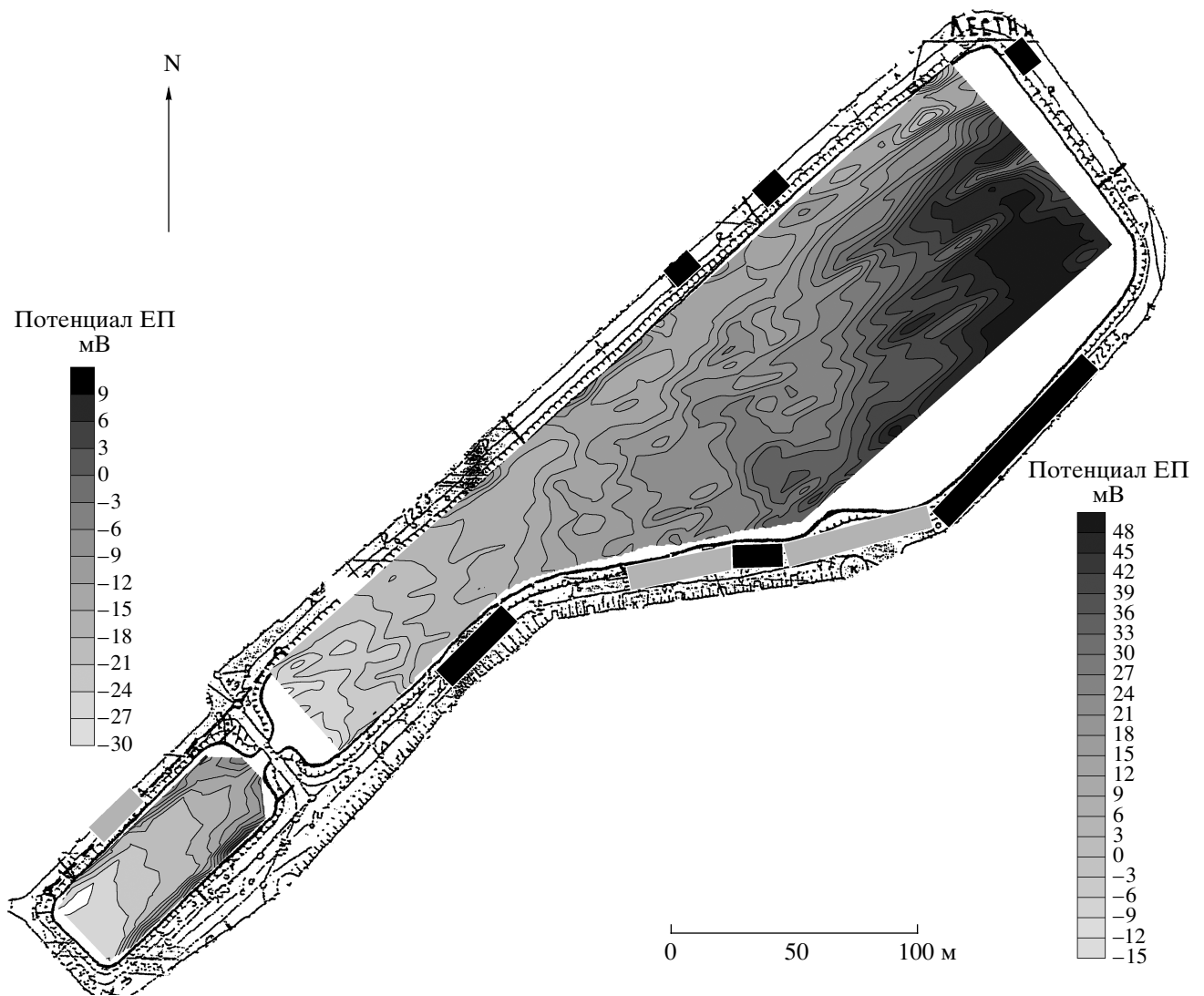


Рис. 7. Распределение потенциала ЕП на поверхности Большого и Малого Новодевичьих прудов. Результаты интерпретации данных береговой радиолокации: прямоугольники светлой заливки – предполагаемые зоны повышенного увлажнения; прямоугольники черной заливки – достоверные зоны повышенного увлажнения.

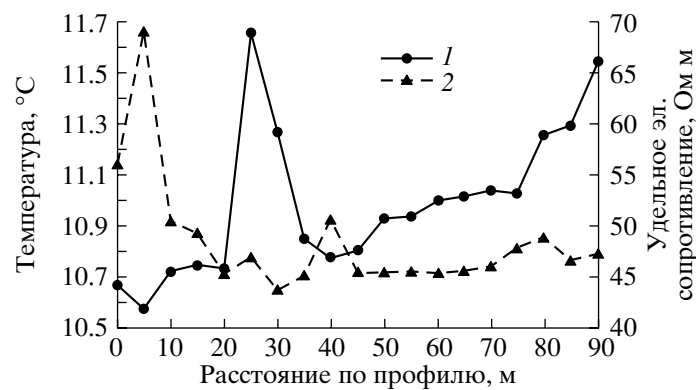


Рис. 8. Графики температуры и удельного электрического сопротивления воды вдоль берега Малого Новодевичьего пруда. Условные обозначения: 1 – температура на урезе воды; 2 – удельное электрическое сопротивление на урезе воды.

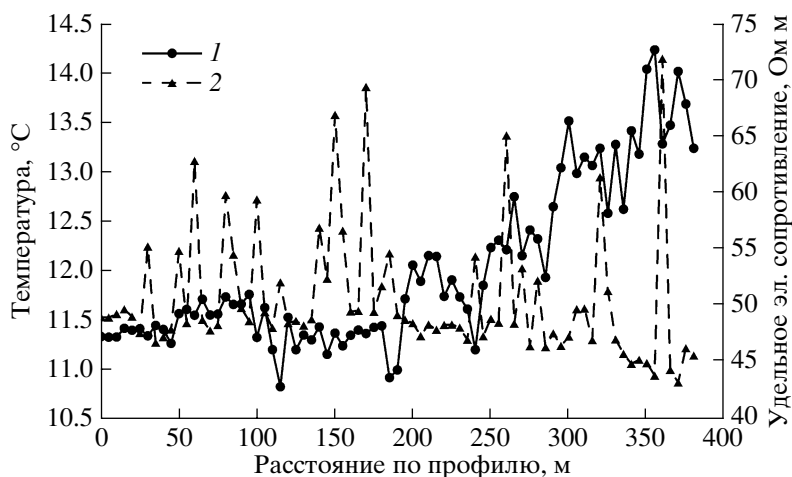


Рис. 9. Графики температуры и удельного электрического сопротивления воды на урезе вдоль берега Большого Нововедвичьего пруда. Условные обозначения: 1 – температура на урезе воды; 2 – удельное электрическое сопротивление на урезе воды.

Необходимо отметить, что температурное поле, связанное с притоком подземных вод, быстро нивелируется в пространстве вследствие ветровых течений и естественной конвекции, особенно в условиях мелководных водоемов. Многочисленные попытки локализовать в пространстве притоки воды показывают, что метод измерения придонной температуры обладает низкой пространственной разрешающей способностью. Существенно ситуация улучшается, когда измерения температуры проводятся в осадках, даже на глубинах в несколько десятков сантиметров под уровнем дна [6]. Потенциально, путем измерения температуры в нескольких точках по вертикали, возможно определить и скорость фильтрации [7]. Этот метод работает только при известных значениях теплофизических параметров грунта и при стационарных условиях на кровле и подошве пласта. В условиях мелководного водоема и при генезисе флювиальных осадков (старица р. Москвы) соответствующие граничные условия не выполняются, тем не менее, авторы считают, что при измерениях в осадках информативность температурного поля могла быть существенно повышена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совокупность полученных результатов позволяет сделать следующие выводы относительно возможностей использования предложенного комплекса геофизических методов:

- определены глубины кровли и подошвы современных осадков на Нововедвичьих Прудах, в соответствии с которыми рассчитан объем современных осадков, которые потенциально могут явиться вторичным источником загрязнения водоема;

- локализованы участки развития фильтрационных процессов; установлены направления и оценены площади участков фильтрации.

Для повышения информативности геофизических методов целесообразно дополнить имеющийся комплекс аппаратурой для зондирования термического поля в грунте; акустическими измерениями в сейсмическом диапазоне (сейсмоакустикой) и ультразвуковом диапазоне частот. Для увеличения производительности работ необходимо повысить быстродействие термометрической аппаратуры аппаратными или вычислительными методами.

Авторы пользуются возможностью выразить благодарность Орлову М.С. и Орлову С.М. и всем сотрудникам ЗАО «Центр практической геоэкологии О плюс К» (ЦПК) за предоставление инженерно-геологического материала. Авторы благодарят сотрудника отделения геофизики Калашникова А.Ю., выполнившего радиолокационные исследования. Также авторы благодарят студентов Зелинского Н.Р. и Ли В.О. за помощь и содействие в процессе полевых работ. Неоценимую помощь при проведении натурных наблюдений и в процессе оформления данной работы оказала Казак Е.С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобачев А.А., Волков С.И., Коларов Д.Л. и др. Комплексные акваторные электроразведочные исследования в восточной части Германии // Разведка и охрана недр. 2004. № 5. С. 22–27.
2. Богословский В.А., Огильви А.А. К вопросу о влиянии дренажных устройств на электрические поля фильтрации // Взаимодействие поверхностного и подземного стока. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. Вып. 5. С. 91–98.

3. Великий С.А., Снегирев В.М. Локальный геофизический мониторинг состояния правобережного примыкания плотины Вилюйской ГЭС-1 // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о земле. 2005. Вып. 6. № 2. С. 77–85.
4. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: Изд-во МГУ, 2005. 154 с.
5. Геологические проблемы Московской агломерации / Под ред. Г.А. Голодковской, А.В. Калинина. М.: Изд-во Моск. унда, 1991. 192 с.
6. Геотермические методы исследований в гидрогеологии / Отв. ред. Н.М. Фролов. М.: Недра, 1979. 285 с.
7. Гуревич А.Е. Практическое руководство по изучению движения подземных вод при поисках полезных ископаемых. Л.: Недра, 1980. 216 с.
8. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика (физика горных пород). М.: Изд-до "Нефть и газ" РГУ Нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. 368 с.
9. Казак А.В., Калинин В.В., Владов М.Л. Решение прямой задачи метода естественного электрического поля для пресноводных акваторий // Геофизика. 2007. № 2. С. 49–55.
10. Калинин А.В., Калинин В.В., Владов М.Л. и др. Комплексные геофизические исследования на реках и пресноводных акваториях применительно к задачам геоэкологии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1994. № 2. С. 917.
11. Калинин А.В., Калинин В.В., Кульницкий Л.М. и др. Выявление зон экологически опасных процессов на акваториях методом естественного электрического поля // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 3. С. 86–91.
12. Калинин В.В., Казак А.В. Методика измерения электропроводности поверхностных природных вод. Основы теории // Вестн. МГУ Сер. 4. Геология. 2008. № 2.
13. Калинин В.В., Мусатов А.А. Выделение мест разгрузки и притока грунтовых вод путем измерения естественных электрических потенциалов на акваториях с движущегося судна // Инженерная геология. 1980. № 1. С. 118–121.
14. Карпов С.В., Клусек З., Матвеев А.Л. и др. Нелинейное взаимодействие акустических волн в газонасыщенных морских осадках // Акустический журнал. 1996. Т. 42. № 4. С. 527–533.
15. Платонов Ю.М. Изучение состояния и свойств массивов горных пород методом самопроизвольной поляризации // Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985.
16. Российская Федерация. Правительство Москвы. О Генеральной схеме отвода и очистки поверхностного стока с территории г. Москвы на период до 2010 г. Постановление N 355-ПП от 17 апреля 2001 г. Вестн. Мэра и Пр-ва Москвы. 2001. № 18.
17. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л.: Недра, 1968. 380 с.