



УДК 550.837.6

### РАСЧЕТ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПЕРЕМЕННОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ ВКМ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

В.Н. Груздев, Л.А. Захарова, О.А. Афанасьева

*Воронежский государственный университет*

В статье рассматриваются возможности и методика расчета передаточных функций с использованием коэффициентов вейвлет-преобразования временных реализаций вариаций переменного геомагнитного поля с целью синхронизации вариаций компонент геомагнитного поля в точках, расположенных в различных геологических структурах и последующего использования синхронных вейвлет-коэффициентов для изучения глубинного геоэлектрического строения региона.

Для изучения глубинного строения Воронежского кристаллического массива (ВКМ), а именно для выявления горизонтальных геоэлектрических неоднородностей на территории ВКМ и сопредельных структур нашли широкое применение магнитовариационные исследования (МВИ). МВИ основаны на регистрации вариаций Z-, H-, D- компонент переменного геомагнитного поля с периодом более 5 минут. Методика полевых наблюдений включала синхронные регистрации компонент геомагнитного поля на одном базисном и нескольких рядовых пунктах (от 1 до 3–4).

Геоэлектрическую модель региона можно построить только с использованием синхронных распределений компонент геомагнитного поля по всем пунктам наблюдения для территории ВКМ на различных периодах. Для расчета синхронных полей необходимо иметь передаточные функции, связывающие компоненты поля на базисной и рядовой точках [1]:

$$\begin{aligned} H_z^b &= m_{zxb} H_x^b + m_{zyb} H_y^b; \\ H_z^i &= m_{zx} H_x^b + m_{zy} H_y^b; \\ H_x^i &= m_{xx} H_x^b + m_{xy} H_y^b; \\ H_y^i &= m_{yx} H_x^b + m_{yy} H_y^b. \end{aligned}$$

Передаточные функции  $m_{zxb}$ ,  $m_{zyb}$ ,  $m_{zx}$ ,  $m_{zy}$ ,  $m_{xx}$ ,  $m_{xy}$ ,  $m_{yx}$ ,  $m_{yy}$  не зависят от источника поля и определяются распределением электропроводности в Земле, периодом колебаний и положением точки наблюдения.

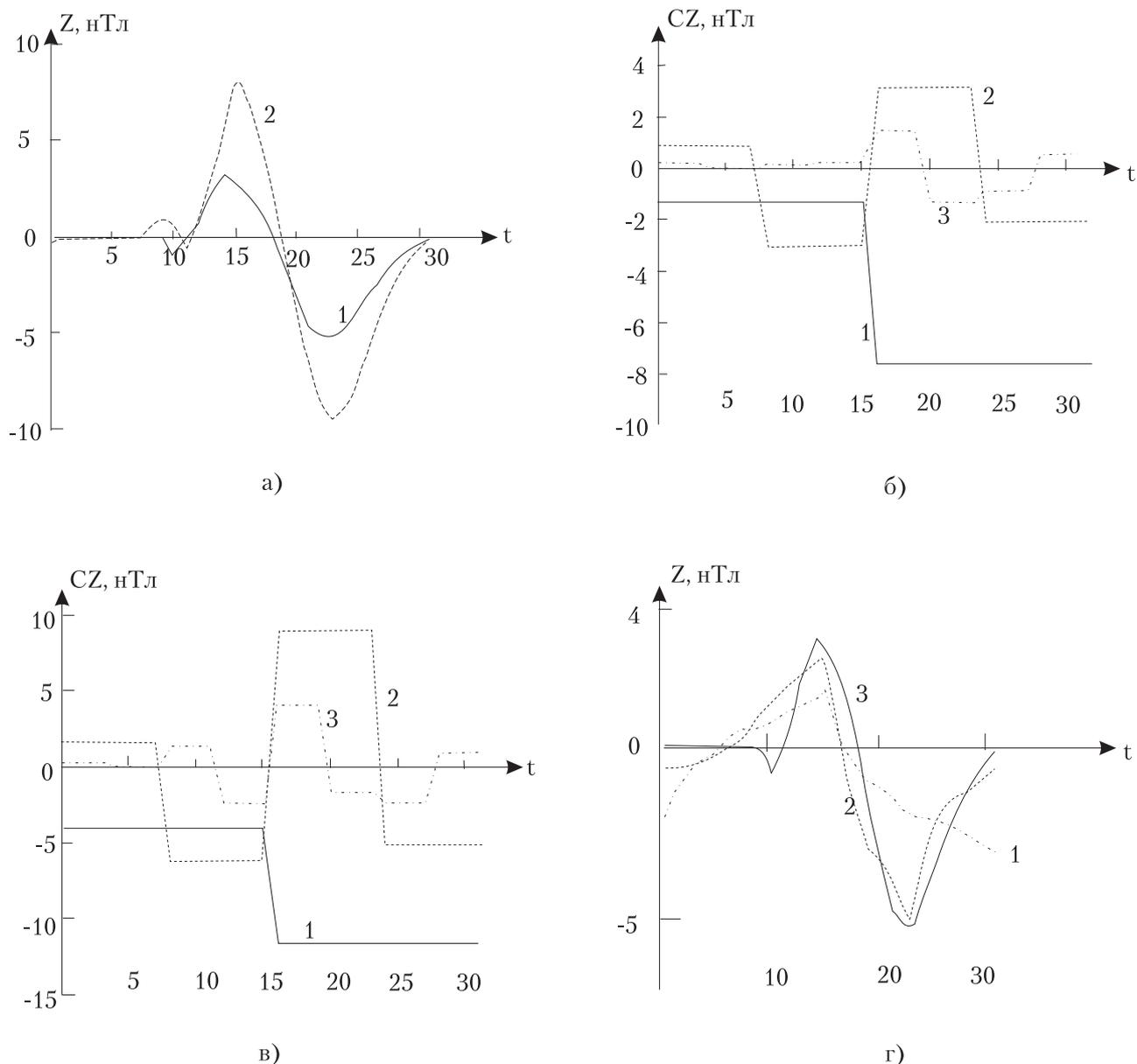
Методика расчета передаточных функций для территории ВКМ ранее основывалась на использовании максимальных мгновенных амплитуд фильтрованных компонент переменного геомагнитного поля. Таким образом, конкретизировался определенный период переменного геомагнитного поля, но при этом не учитывались локальные неоднородности структуры поля на выбранных для анализа временных реализациях.

В данной статье предлагается методика расчета передаточных функций с использованием коэффициентов вейвлет-преобразований.

Вейвлеты – это особые функции, имеющие вид коротких волновых пакетов с нулевым интегральным значением и с той или иной, подчас очень сложной, формой, локализованных по оси  $t$  и способных к сдвигу по ней и масштабированию (сжатию и растяжению) [2]. Вейвлеты создаются с помощью базовых функций – прототипов, задающих их вид и свойства и удовлетворяющих целому ряду специфических условий. Набор вейвлетов, в их временном и в частотном представлении, может приближать сложный сигнал, причем достаточно точно. Вейвлеты имеют преимущества перед рядами Фурье как в общем и точном представлении функций, так их разнообразных локальных особенностей. Они представлены намного более разнообразным набором типов, чем единственная синусоидальная функция в рядах Фурье. С помощью вейвлетов сигнал представляется совокупностью волновых пакетов – вейвлетов, образованных на основе некоторой исходной функции  $\psi_0(t)$ . Эта совокупность, разная в разных частях временного интервала определения сигнала, и корректируется множителями, имеющими вид сложных временных функций [1].

Функции прямого и обратного дискретного вейвлет-преобразования включены в СКМ MathCAD 2001 и названы функциями волнового преобразования. В них используется один тип вейвлета – Добеши порядка 4, который позволяет проводить вейвлет-преобразования для многих функций, в том числе для синхронных вариаций геомагнитного поля [3,4].

В ядро системы MathCAD 2001 включены две функции для вейвлет-преобразований [3]:



**Рис. 1. Вейвлет-преобразования импульсов переменного геомагнитного поля:**

- а) исходные 90-минутные реализации вариаций Z-компонента геомагнитного поля в п.н. Березовский (1) и Самойловка (2), зарегистрированные 6 февраля 1977 года в 21.00;*  
*б) распределение коэффициентов вейвлет-преобразований для Z-компонента в п.н. Березовский (2 и 3 коэффициенты (1), 4–7 коэффициенты (2), 8–16 коэффициенты (3));*  
*в) распределение коэффициентов вейвлет-преобразований для Z-компонента в п.н. Самойловка (2 и 3 коэффициенты (1), 4–7 коэффициенты (2), 8–16 коэффициенты (3));*  
*г) восстановление исходной реализации в п.н. Березовский по первым двум (1), четырем (2) и восьми (3) вейвлет-коэффициентам на основе обратного вейвлет-преобразования*

- wave (**V**) – дискретное вейвлет-преобразование действительных чисел (вектор **V** должен содержать  $2^n$  действительных значений, где  $n$  – целое число);  
 - iwave (**V**) – обратное вейвлет-преобразование относительно прямого преобразования wave (**V**).

Для вейвлет-преобразования временных реализаций вариаций переменного геомагнитного поля в системе компьютерной математики MathCAD 2001 составлена программа, которая и включает в себя функции прямого wave (**V**) и обратного вейвлет-преобразований iwave (**V**) [4].

Для расчета передаточных функции по основным коэффициентам Вейвлет-преобразований, т.е. для коэффициентов 0–7, составлена соответствующая программа в СКМ MathCAD 2001. Первые 8 коэффициентов выбраны исходя из того, что исходная временная реализация вариаций геомагнитного поля с использованием обратного вейвлет-преобразования практически полностью восстанавливается по первым 8 коэффициентам (рис. 1). Характер распределения величины вейвлет коэффициентов для синхронных записей по двум конкретным пунктам наблюдения различается

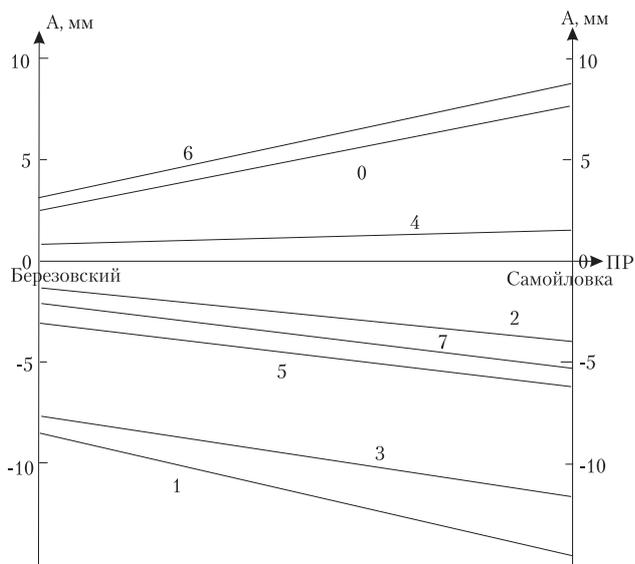


Рис. 2. Распределение величины коэффициентов вейвлет-преобразований между п. н. Березовский и Самойловка (цифра у линии соответствует номеру вейвлет-коэффициента)

как для самих коэффициентов, так и для различных используемых видов реализаций поля. Это связано с тем, что с увеличением номера коэффициента уменьшается глубина, о которой содержится информация, а также усиливается влияние локальных неоднородностей, имеющих внешнюю (источник) и внутреннюю (особенности геоэлектрического разреза) природу (рис. 2).

Для получения передаточных функций по каждой паре «база – рядовая точка» и определенному коэффициенту Вейвлет-преобразований методом наименьших квадратов решается система линейных уравнений с использованием 7 и более синхронных реализаций вариаций поля.

Использование различных реализаций вариаций

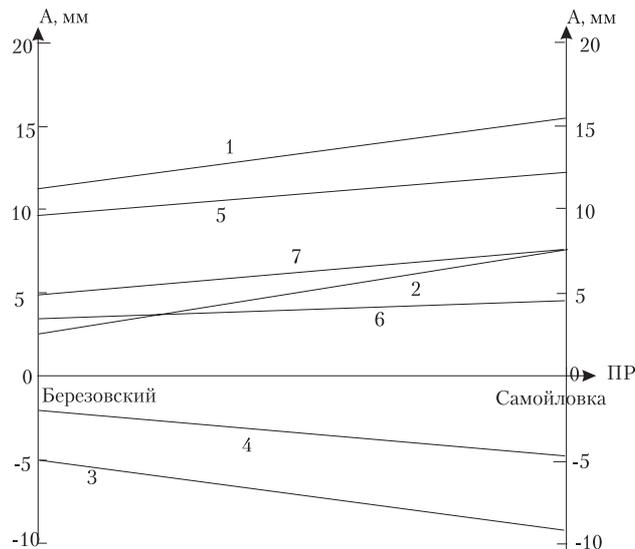
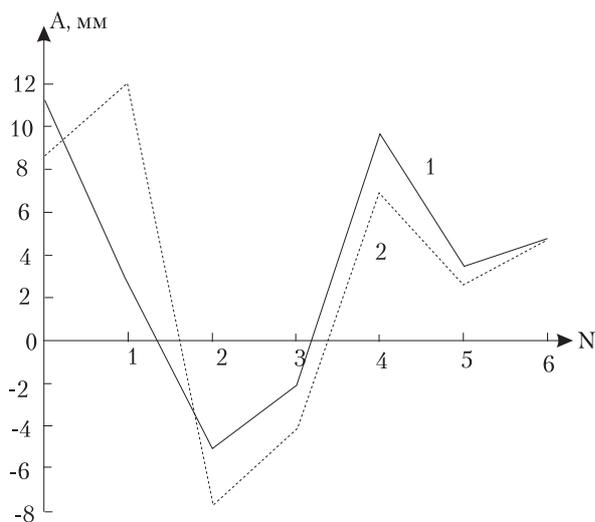


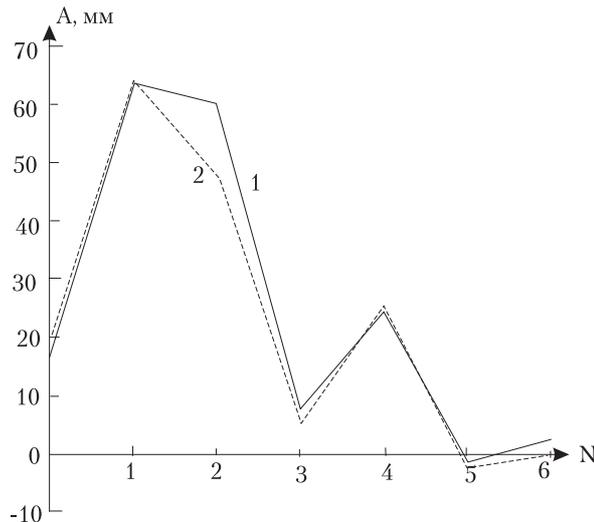
Рис. 3. Распределение величины первого вейвлет-коэффициента между п. н. Березовский и Самойловка для различных временных реализаций Z-компонента переменного геомагнитного поля (цифра у линии соответствует номеру реализации)

компонент геомагнитного поля, наблюдаемых в базисной и рядовой точках, дает возможность ввести в обработку реализации при различных направлениях поляризации первичного поля. Характер распределения величины одних и тех же вейвлет-коэффициентов для различных синхронных реализаций вариаций геомагнитного поля может отличаться, что обусловлено влиянием иных геоэлектрических неоднородностей при различных направлениях поляризации первичного поля (рис. 3).

По полученным передаточным функциям коэффициентов вейвлет-преобразований для синхронных данных можно определить значения вейвлет-коэффициентов в рядовой точке наблюдения через базис-

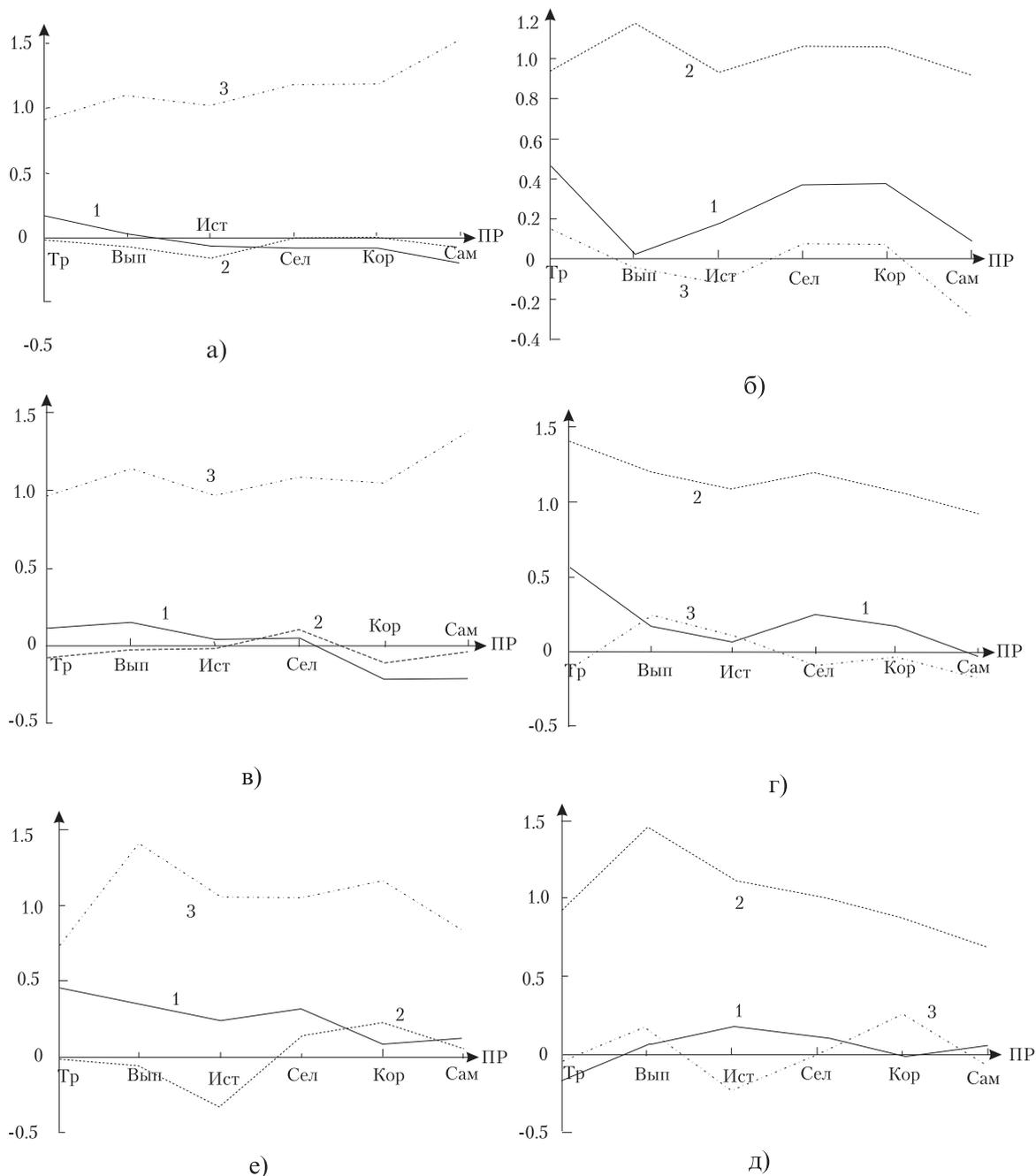


а)



б)

Рис. 4. Второй вейвлет-коэффициент по результатам вейвлет-преобразования (линия 1) и рассчитанный по передаточным функциям (линия 2) Z-компоненты на базисном пункте (а) и N-компоненты на рядовом пункте (б) для 7 различных временных реализаций



**Рис. 5. Распределение передаточных функций для вейвлет-коэффициентов по широтному профилю Троицкое – Выполозово – Истобное – Селявное – Коршево – Самойловка:**

- а) 0 – вейвлет-коэффициент ( $1 - m_{zy}, 2 - m_{xy}, 3 - m_{yx}$ ); б) 0 – вейвлет-коэффициент ( $1 - m_{zx}, 2 - m_{xx}, 3 - m_{yy}$ );*
- в) 2 – вейвлет-коэффициент ( $1 - m_{zy}, 2 - m_{xy}, 3 - m_{yx}$ ); г) 2 – вейвлет-коэффициент ( $1 - m_{zx}, 2 - m_{xx}, 3 - m_{yy}$ );*
- д) 3 – вейвлет-коэффициент ( $1 - m_{zy}, 2 - m_{xy}, 3 - m_{yx}$ ); е) 3 – вейвлет-коэффициент ( $1 - m_{zx}, 2 - m_{xx}, 3 - m_{yy}$ )*

ный пункт и тем самым оценить погрешности расчета передаточных функций, а также выявить импульсы, вейвлет-коэффициенты которых имеют иной характер распределения, что может быть связано с природой источника поля (рис. 4). Такие реализации поля следует исключать из общей массы обрабатываемых данных или выделять их в особую группу. По рассчитанным, с использованием передаточных функций, вейвлет-коэффициентам на рядовой точке выполняется обратное Вейвлет-преобразование и восстанавливается синх-

ронная временная реализация компонент геомагнитного поля по заданной реализации на базисном пункте.

Для изучения глубинной электропроводности достаточно исследовать характер распределения определенных вейвлет-коэффициентов, полученных на рядовых точках с помощью передаточных функций, причем каждый из коэффициентов несет информацию о распределении электропроводности на определенных глубинах и чем больше номер коэффициента, тем меньше глубина исследования (рис. 5).

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о возможности изучения глубинной электропроводности по синхронным распределениям коэффициентов Вейвлет-преобразований для вариаций компонент переменного геомагнитного поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Жданов, М.С.* Электроразведка : учебник для вузов / М.С. Жданов. – М. : Недра, 1986. – 316 с.

2. *Дьяконов, В.П.* Вейвлеты. От теории к практике / В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Р, 2002. – 448 с.

3. *Дьяконов, В.* MathCAD 2001 : специальный справочник / В. Дьяконов. – СПб. : Питер, 2002. – 832 с.

4. *Груздев, В.Н.* Вейвлет-преобразования бухтообразных возмущений переменного геомагнитного поля / В.Н. Груздев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 2004. – № 1. – С. 131–136.

УДК 624.131.439

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО АНАЛОГАМ

Л.А. Смоляницкий

*Воронежский государственный университет*

Предлагается система аналогов идентификации вещественного состава пылевато-глинистых грунтов.

При инженерно-геологических изысканиях под строительство гражданских, промышленных или транспортных сооружений действующими нормативными документами (ГОСТы, СНиПы) предусмотрено выполнение комплекса физико-механических испытаний грунтов. Методы определения некоторых физических свойств были созданы еще в конце XIX (границы текучести и раскатывания) или в середине XX века (определение гранулометрического состава грунта). Некоторые усовершенствования существенно не улучшили эти испытания. Основные недостатки – использование органолептических приемов, низкая точность определения искомых характеристик грунтов и очень большая трудоемкость процесса испытаний. В инженерной практике в сложных случаях, например при изучении оползней, при строительстве на просадочных или набухающих грунтах оснований, иногда очень полезно опираться на грунтовые аналоги с целью принятия оптимальных строительных решений. При этом стандартный набор определяемых характеристик пылевато-глинистых грунтов явно недостаточен для обоснованного сопоставления изучаемого грунтового объекта и его предполагаемого аналога. Возникает необходимость в определении дополнительных параметров, например типа глинистых минералов и пр.

Сопоставление вещественного состава грунтов в нарушенном сложении целесообразно выполнять по интегральному параметру, учитывающему комплексно и гранулометрический состав грунта и соотношение в нем разных глинистых минералов. Для интегральной оценки вещественного состава пылевато-глинистых грунтов автором были разработаны способ и устройство. Работа макета этого прибора и первые результаты были им описаны в работах [1, 2].

К настоящему времени автором уже разработана механическая часть опытного образца прибора. Этот

опытный образец позволяет одновременно испытывать 10 образцов одного и того же грунта, различающихся только начальной влажностью. Отработка методики испытаний (подбор оптимального размера образцов, подходящего давления уплотнения, продолжительности испытания и пр.) выполнялась на пылевато-глинистых грунтах с различным минералогическим и гранулометрическим составом – от жирных глин до супесей различного генезиса. Испытываются образцы только нарушенной структуры. Они изготавливаются с помощью специального шаблона. Оптимальный размер образцов составляет: диаметр 35, а толщина 3 мм. Перед закладкой образцов грунта в прибор каждый из них взвешивается на электронных весах с точностью 0,01 грамма. Образцы помещаются в прибор, и на них передается постоянное статическое давление определенной величины в течение определенного времени. Применялись различная продолжительность испытаний в зависимости от поставленной задачи. После уплотнения образцы снова взвешиваются, после чего высушиваются в сушильном шкафу и снова взвешиваются. В связи с тем, что образцы имеют форму пластинок с большой испаряющей поверхностью, продолжительность их высыхания при температуре 105 °С сокращается до 30 минут. В результате рассчитывается исходная влажность и влажность грунта после его уплотнения. Строится график зависимости между влажностью образцов грунта после уплотнения и влажностью до их уплотнения. Этот график можно назвать **идентификационной кривой** данного грунта (рис.).

Оказывается, каждому грунту соответствует только одна кривая (полученная при конкретных условиях испытания). Очертания идентификационных кривых зависят от минералогического состава глинистых частиц, процентного соотношения глинистых, пылеватых и песчаных фракций. В качестве примера на рисунке приведена