

УДК 624.138:550.837

Н. Ю. Никулин

## ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СВОЙСТВ ЗАКРЕПЛЕННОГО МАССИВА

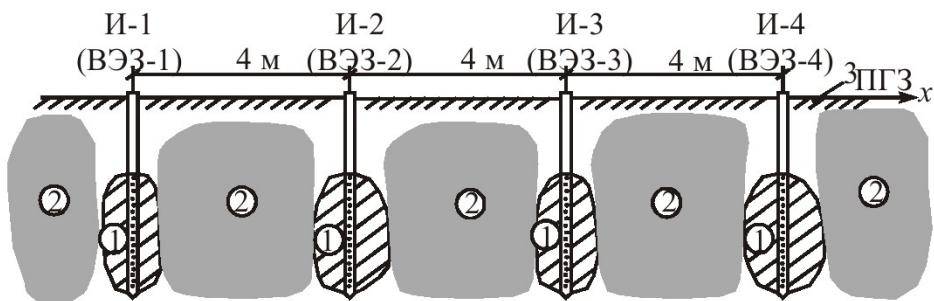
Традиционный прямой геомеханический мониторинг (отбор и испытание образцов, статическое зондирование) является универсальным, поскольку обеспечивает контроль на любой стадии закрепления грунтов в любой его точке. Методы акустического и электрического профилирования позволяют реализовать одномерный (послойный) мониторинг. Для обеспечения двухмерного мониторинга целесообразно исследование возможностей вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) с последующей инверсией и георадиолокации. Данные геофизические методы позволяют осуществлять изучение массива непрерывно или с наименьшим шагом вдоль профиля. Ниже изложены результаты двумерного (дифференцированного) мониторинга на опытном участке высоконапорной инъекции (ВНИ) грунтов, схема которого представлена на рис. 1. Результаты, полученные прямыми механическими и геофизическими методами, приведены в работах [1–2]<sup>1</sup>.

вых ВЭЗ, а также решать геологические задачи. Нацеленность на геологический результат является отличительной особенностью программы IPI2Win по сравнению с другими распространенными программами автоматического решения обратной задачи.

Для интерпретации георадиолокационных данных использовался штатный программный комплекс Geoscan 32, а также специальная программа для построения интегрированных радарограмм с различным шагом интегрирования [3].

Результаты интерактивной интерпретации ВЭЗ представлены в виде разрезов эффективных УЭС и геоэлектрических разрезов, которые приведены на рис. 2.

По полученным экспериментальным данным построены графики зависимостей средних значений относительных истинных  $\rho$  и эффективных  $\rho_k$  удельных электросопротивлений (УЭС) от расхода закрепляющего раствора на различных этапах ВНИ (рис. 3).



*Рис. 1. Схема контроля процессов укрепления массива при ВНИ:  
1 – зона закрепления; 2 – массив с неизученными свойствами; 3 – почвенно-растительный слой; И-1-4 – инъекторы; ВЭЗ-1-4 – точки вертикального электрического зондирования; ПГЗ – профиль георадиолокационного зондирования*

Георадиолокационное зондирование осуществлялось аппаратурой ОКО-2 с антенным блоком АБ-400, что позволило изучать массив на глубину до 5 м. Зондирования проводились на всех этапах ВНИ вдоль профиля, совпадающего с линией размещения инъекторов, с шагом зондирования 5 см.

Интерактивная интерпретация данных ВЭЗ выполнялась в компьютерной программе IPI2Win, которая предназначена для одномерной интерпретации данных ВЭЗ по одному профилю наблюдений. Данная программа позволяет произвести удовлетворительный подбор теоретических кри-

Выполнена оценка изменения интегрального показателя УЭС  $I_\rho$ , который определялся по следующей формуле:

$$I_\rho = \frac{1}{S_0} \sum \rho_i \cdot S_i,$$

где  $\rho_i$  – УЭС  $i$ -ого слоя;  $S_i$  – площадь  $i$ -ого слоя, вычисленная по геоэлектрическому разрезу;  $S_0$  – площадь зоны контроля в сечении.

Из анализа полученных графиков следует, что на протяжении 7 сут. после ВНИ происходит равномерное снижение относительного эффективного УЭС на 14–22 % для инъекторов И-2 и И-3. На крайних инъекторах И-1 и И-4 на следующие сутки после закрепления происходит увеличение УЭС на 5 % с последующим снижением на 9–12 %,

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках выполнения федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Соглашение №14.B37.21.0581 от 20 августа 2012 г.

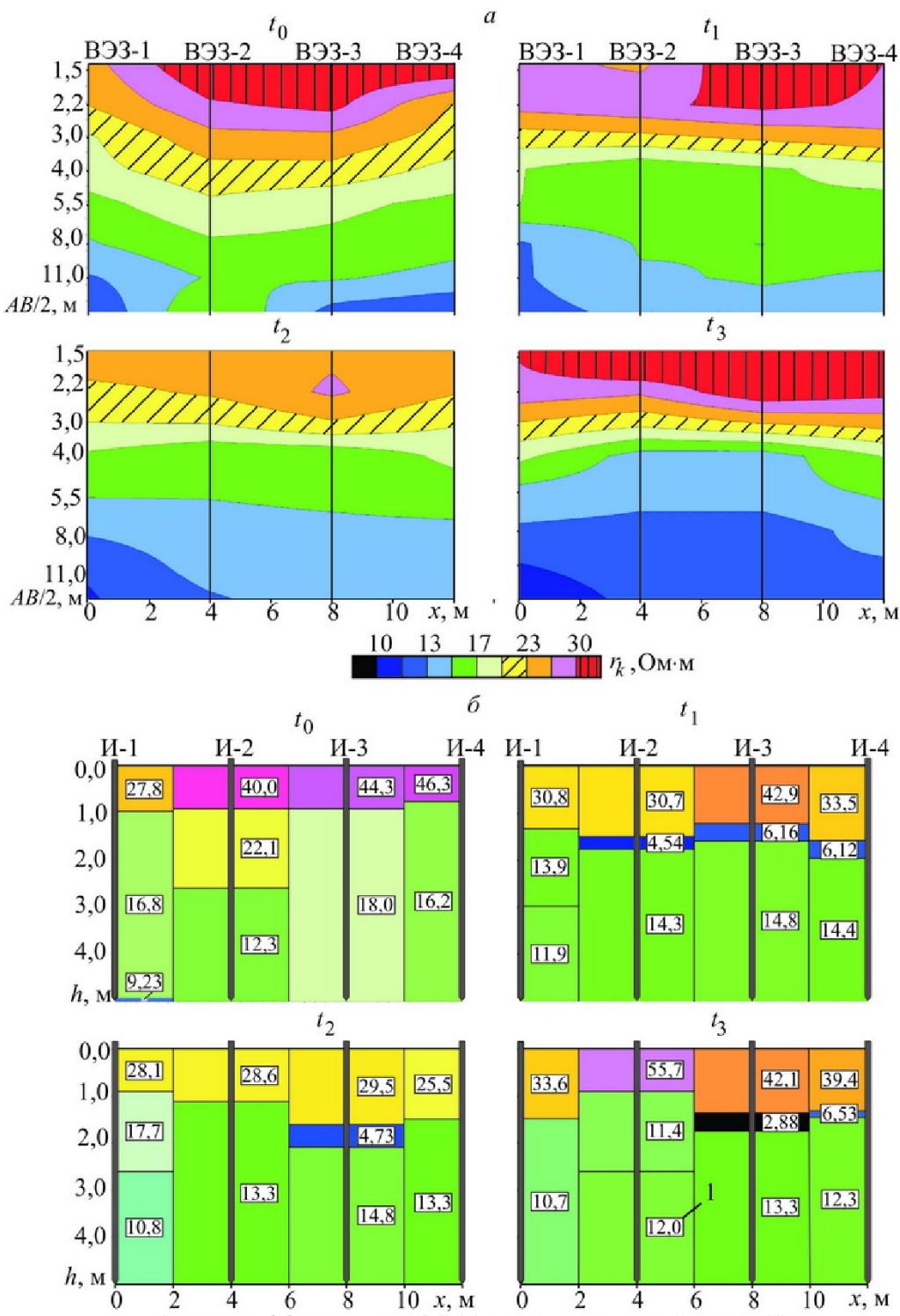


Рис. 2. Разрез эффективных УЭС (а) и геоэлектрический разрез (б):

$t_0$  – до проведения ВНИ;  $t_1$  – через 1 сут. после ВНИ;  $t_2$  – через 7 сут. после ВНИ;  $t_3$  – через 62 сут. после ВНИ; 1 – значение УЭС; ВЭЗ-1-4 – ось вертикального электрического зондирования; И-1-4 – инъекторы

что свидетельствует о повышении влажности массива. Дальнейшие наблюдения позволили установить закономерности, отражающие процесс набора прочности закрепленного массива, это отображается в увеличении УЭС для всех инъекторов во временном интервале 7–62 сут. после ВНИ. Наибольшие изменения УЭС наблюдаются при расходе закрепляющего раствора  $0,25 \text{ м}^3$ .

Зависимость изменения истинных УЭС во времени повторяет зависимость изменения эффективных УЭС, так на протяжении 7 сут. после нагнетания закрепляющего раствора происходит снижение эффективных УЭС на 18–21 % по отношению к начальным значениям, далее на протяжении 55 сут. наблюдается монотонное увеличение УЭС на 10–15 %, при этом начальные зна-

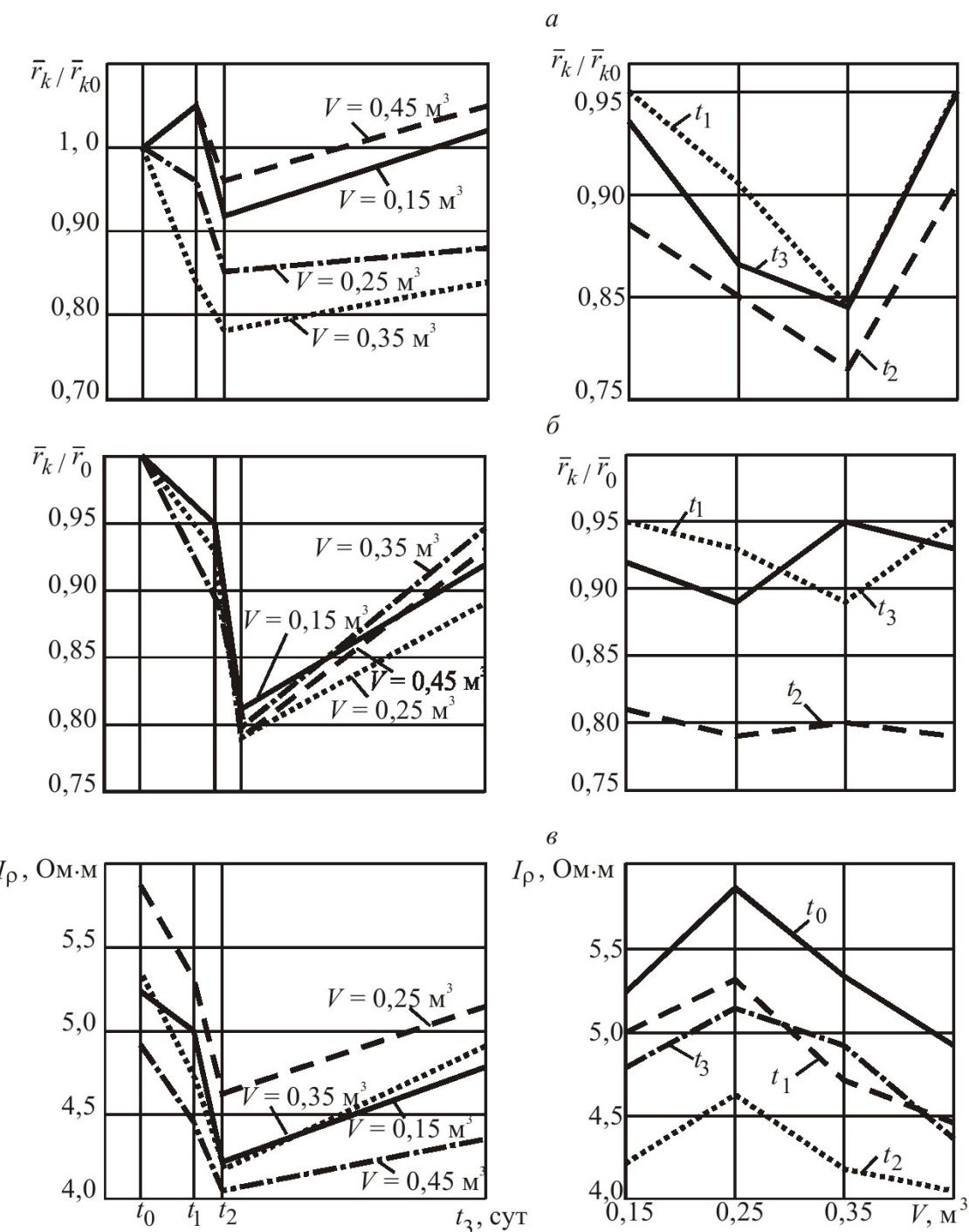


Рис. 3. Изменение среднего относительного УЭС (а), истинного относительного УЭС (б) и интегрального показателя УЭС (в) в зависимости от стадии ВНИ и расхода  $V$  закрепляющего раствора:

$t_0$  – до проведения ВНИ;  $t_1$  – через 1 сут. после ВНИ;  $t_2$  – через 7 сут. после ВНИ;  
 $t_3$  – через 62 сут. после ВНИ

чения УЭС (до ВНИ) достигнуты не были.

Анализ изменения интегрального показателя УЭС показал, что наибольший набор прочности закрепляющим раствором произошел на инъекторе И-3 ( $0,25 \text{ m}^3$ ), эти данные согласуются с результатами, полученными другими методами изучения массива [1–2], при этом введение интегрального параметра повышает информативность монито-

ринга.

Результаты георадиолокационных исследований в форме исходных и интегрированных радарограмм представлены на рис. 4.

Данные георадиолокационного зондирования в интегральном виде получены путем разбиения исходной радарограммы на секторы прямоугольной формы с размерами  $\Delta x$  и  $\Delta z$ , площадь которых

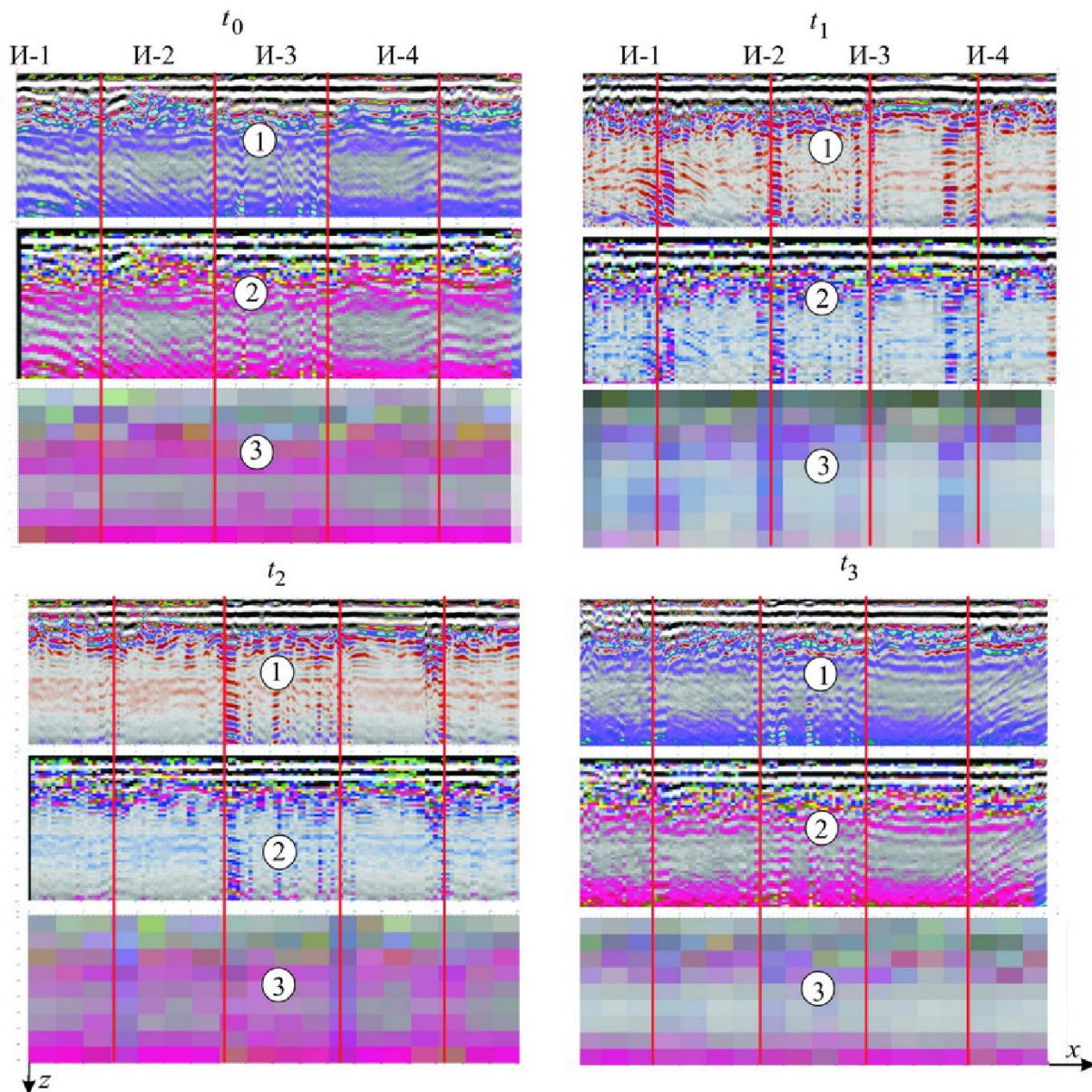


Рис. 4. Результаты электромагнитного сканирования на различных стадиях ВНИ ( $t_0-t_3$ ):  
1 – исходная радарограмма; 2 – обработанная радарограмма с шагом интегрирования  $\Delta x = \Delta z = 0,2\text{ м}$ ; 3 – интегрированная радарограмма с шагом 1,0 м; И-1-4 – инъекторы

задается интерпретатором, и нахождения среднего значения амплитуды отраженного сигнала  $A$  по каждому из секторов. Цветовая заливка каждого из секторов осуществляется согласно цветовой градации  $A$  в исходной радарограмме. Далее для каждого инъектора произведено суммирование значений  $A$  в зоне его расположения, и найдено среднее значение  $\bar{A}$ . Результаты проделанной операции представлены в виде зависимостей изменения  $\bar{A}/\bar{A}_0$  от расхода закрепляющего раствора на различных этапах ВНИ (рис. 5), а также интегрального показателя  $I_A$ , аналогичного  $I_p$ .

Анализ полученных результатов позволить сделать следующие выводы:

- наиболее интенсивный набор конечной

прочности массива приходится на инъектор И-2 с расходом закрепляющего раствора  $0,25\text{ м}^3$ ;

– в целом после ВНИ наблюдается снижение величины контролируемого параметра  $A$ , а через 7 сут. после ВНИ происходит увеличение  $A$ , что говорит о наборе прочности;

– в качестве количественного критерия при двумерном мониторинге процессов закрепления массива целесообразно применять интегральные показатели  $I_p$  и  $I_A$ .

В зависимости от особенностей строения и свойств укрепляемого массива существует оптимальный объем закачиваемого раствора, который может быть установлен путем комплексных исследований на начальных стадиях ведения укрепительных работ.

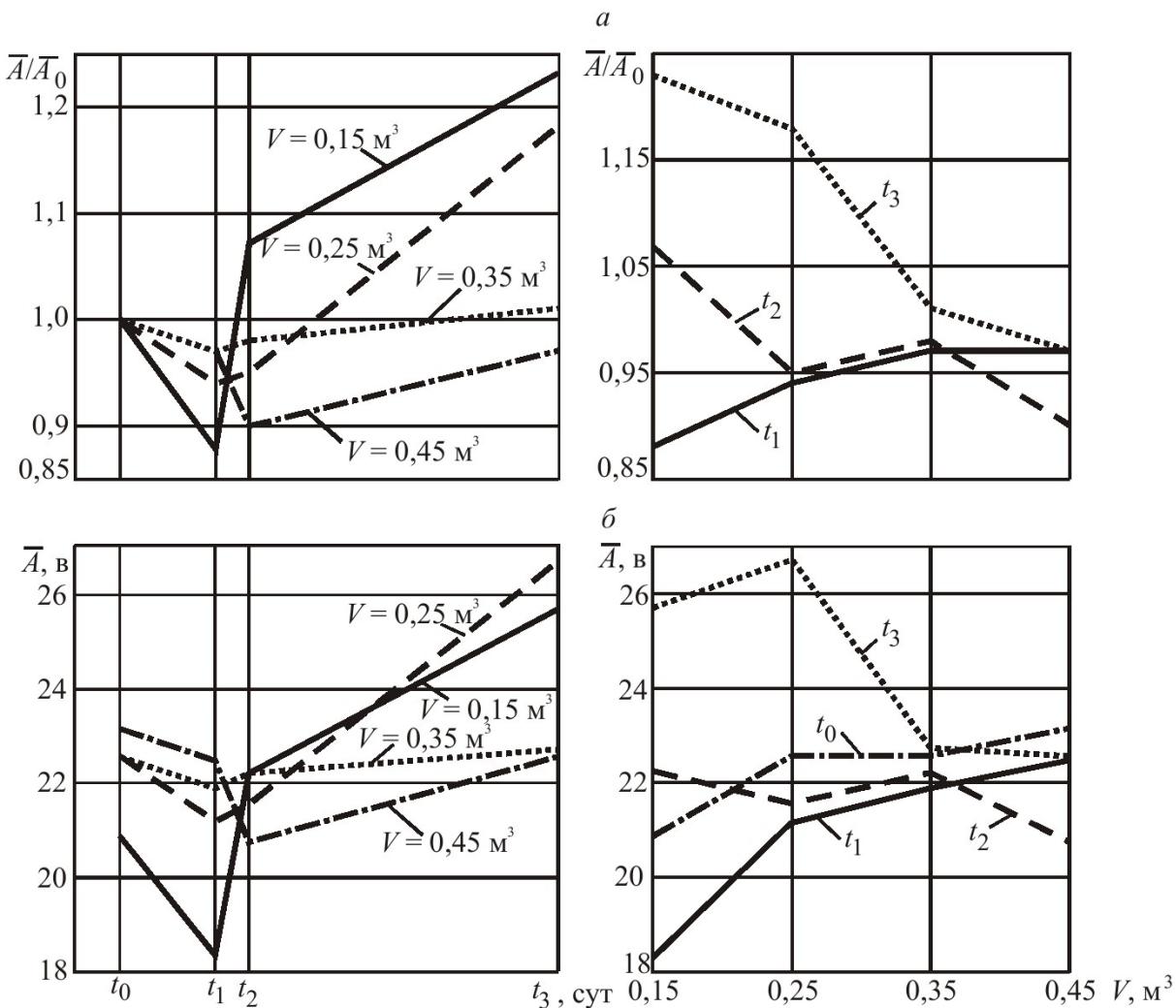


Рис. 5. Изменение среднего относительного значения  $A$  (а) и интегрального показателя  $I_A$  (б) в зависимости от стадии ВНИ и расхода закрепляющего раствора

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никулин, Н. Ю. Экспериментальное исследование геомеханических процессов в зоне высокона-порной инъекции грунтов / Н. Ю. Никулин, С. М. Простов, В. А. Хямяляйнен, О. В. Герасимов // Вестник КузГТУ. – 2013. – №2. – С. 3-9.
2. Изучение состояния и свойств закрепленного массива методами электрического зондирования / Никулин Н. Ю. // Вестник КузГТУ, 2013. – №3. – С.2-6.
3. Простов, С. М. Совершенствование методики интерпретации георадарограмм / С. М. Простов, Е. А. Салтымаков // Природные и материальные ресурсы Сибири : матер-лы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово, 2012. – С. 254–257.

□ Авторы статьи:

Никулин  
Николай Юрьевич,  
аспирант КузГТУ,  
инженер-геофизик  
ООО «НООЦЕНТР-Д»,  
e-mail: n.y.nikulin@mail.ru