

Решая уравнение (6) относительно  $t_a$ , получим следующее выражение для оптимальной продолжительности активирования:

$$t_a^{opt} = -\frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 - \frac{1}{\delta} \sqrt{\frac{\lambda}{I_\infty}} \right). \quad (7)$$

Из формулы (7) следует, что оптимальная длительность облучения существует только при условии, когда  $\lambda < I_\infty \delta^2$ . В противном случае, чтобы обеспечить нужную точность измерений, необходимо увеличить наведенную активность (за счет источников нейтронов).

При соблюдении неравенства  $\frac{1}{\delta} \sqrt{\frac{\lambda}{I_\infty}} \ll 1$  формула (7) упрощается:

$$t_a^{opt} \approx \frac{1}{\delta \sqrt{I_\infty \lambda}}.$$

Вернемся к выражению (5), в котором положим  $t_a = t_a^{opt}$ . Тогда

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \left\{ 1 - \frac{\lambda}{I_\infty [1 - e^{-\ln \left( 1 - \frac{1}{\delta} \sqrt{\lambda/I_\infty} \right) \delta^2]} \right\}. \quad (8)$$

Поскольку

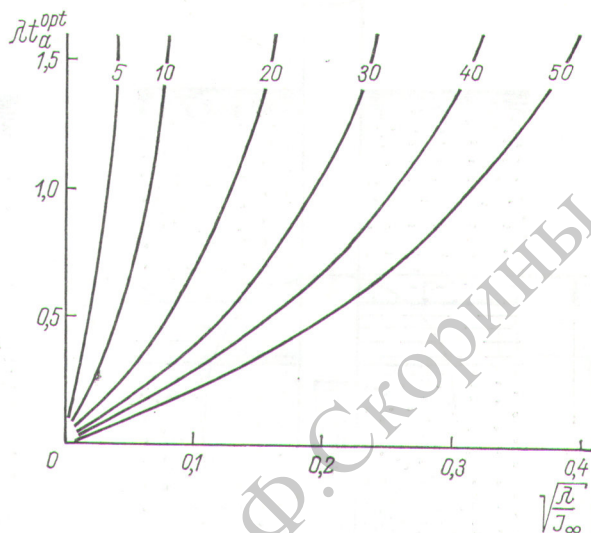
$$\exp \left[ \ln \left( 1 - \frac{1}{\delta} \sqrt{\lambda/I_\infty} \right) \right] = 1 - \frac{1}{\delta} \sqrt{\lambda/I_\infty},$$

то

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 - \frac{1}{\delta} \sqrt{\frac{\lambda}{I_\infty}} \right).$$

Другими словами, при  $t_a = t_a^{opt}$  время облучения и продолжительность регистрации вызванного эффекта совпадают.

На рисунке представлена зависимость произведения  $\lambda t_a^{opt}$  от параметра  $\sqrt{\lambda/I_\infty}$  для разных значений  $\delta$  (%).



Номограмма для определения оптимальной продолжительности активирования.

Учитывая, что при  $t_a + t = \min$  выражения (5) и (7) совпадают, этот рисунок представляется возможным использовать одновременно для определения  $t_a^{opt}$  и  $t$ .

Поступило в Редакцию 28/X 1970 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. С. Возжеников. Активационный анализ в рудной геофизике. М., «Недра», 1965, стр. 8.
2. В. И. Гольданский, А. В. Купенко, М. И. Подгорецкий. Статистика отчетов при регистрации ядерных частиц. М., Физматгиз, 1959, стр. 84.

## Улучшение вертикальной разрешающей способности полевого нейтронного влагомера

Л. И. БЕСКИН, И. Я. БОГДАНОВ, В. А. ЕМЕЛЬЯНОВ, С. КИЯНЯ, В. И. СИНИЦЫН

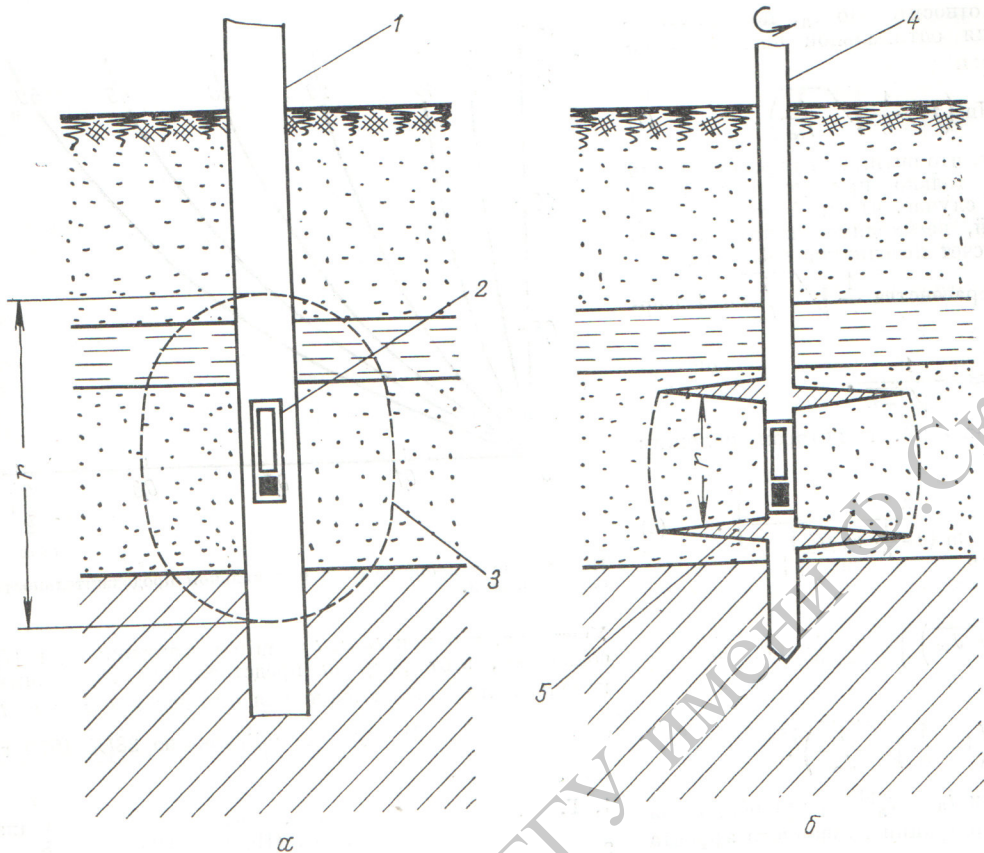
УДК 631.42:697.93

Нейтронный метод все шире внедряется в практику полевых исследований влажности почво-грунтов, так как является единственным методом, позволяющим измерять влажность без отбора проб. Определяемые по скорости счета медленных нейтронов значения влажности получаются осредненными по некоторому сферическому объему, вертикальные размеры которого обратно пропорциональны объемной влажности [1, 2] (рис. 1). Когда зонд влагомера размещается вблизи границ раздела слоев с различной влажностью, результаты измерений оказываются завышенными или заниженными в зависимости от положения зонда относительно границ раздела слоев. Вследствие этого могут возникать очень большие ошибки измерений [1, 3].

Такими приемами, как использование коротких счетчиков, расположение источника нейтронов на сере-

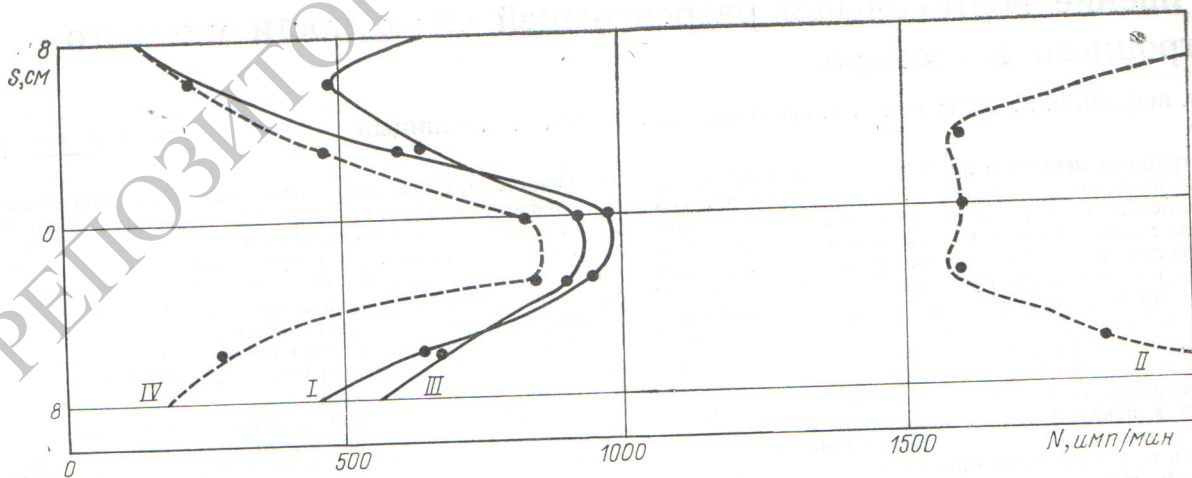
дине счетчика, применение различных экранов на источнике и счетчике и др., не удается существенно улучшить вертикальную разрешающую способность [4] и обеспечить ее постоянство. Для существенного улучшения разрешающей способности нейтронных влагомеров предлагается расположить нейтронный зонд в штанге винтобура [5] между двумя лопастями (диаметром 20—40 см), содержащими в своем составе аномально сильные поглотители нейтронов (см. рис. 1, б). Таким образом будет ограничено проникновение к счетчику нейтронов, замедленных вне анализируемого слоя. Это предположение было проверено экспериментально в лабораторных условиях с помощью влагомера НВУ-1 [2, 6].

В экспериментах исследовали влияние более влажных слоев на расположенный между ними менее влаж-



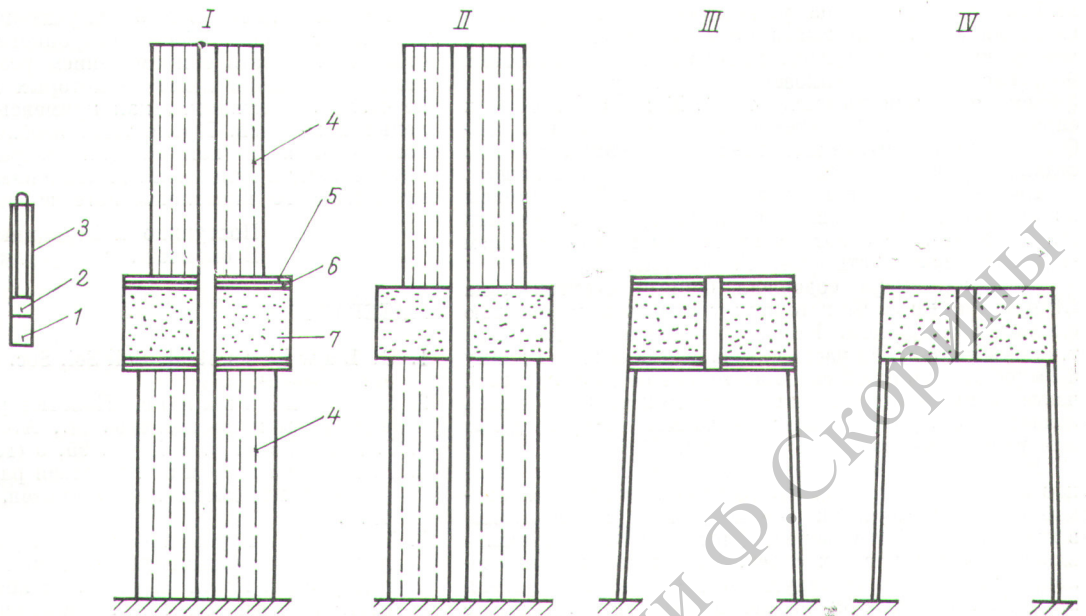
Р и с. 1. Способы введения зондов нейтронных влагомеров (а — по скважине; б — с помощью инталоластей):

1 — обсадная труба; 2 — зонд нейтронного влагомера; 3 — сфера усреднения информации о величине влажности; 4 — штанга влагомера; 5 — винтлопастей;  $r$  — разрешающая способность нейтронного влагомера.



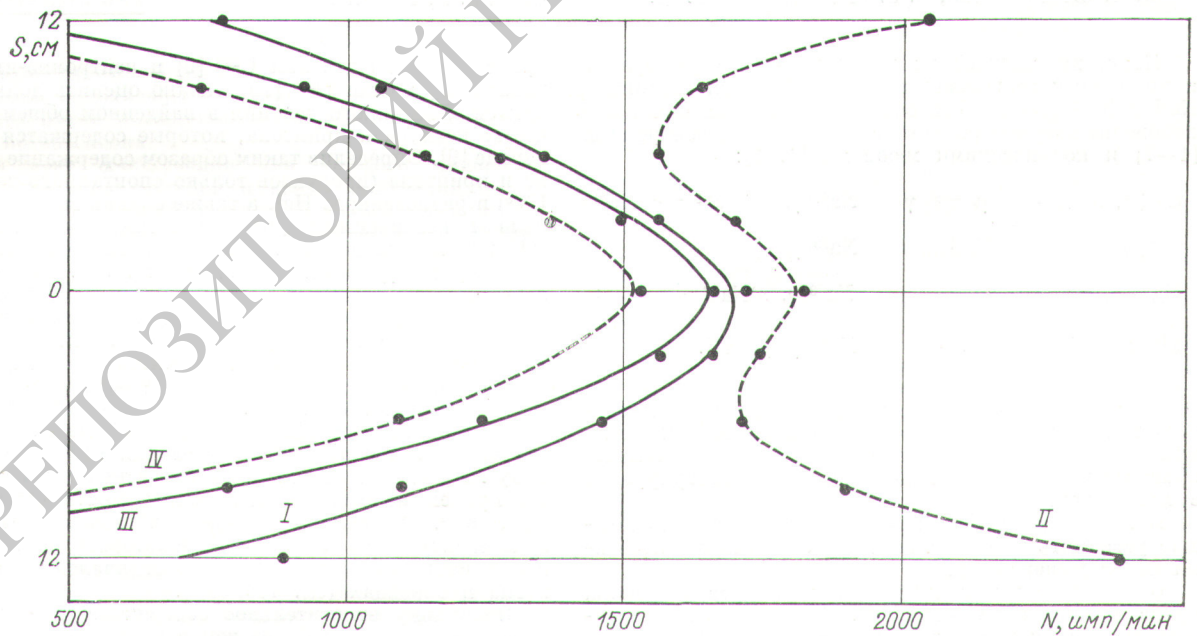
Р и с. 3. Зависимости скорости счета медленных нейтронов от расположения зонда относительно середины слоя влагонасыщенного песка мощностью 16 см (цифры у кривых — номера вариантов опытов на рис. 3).





Р и с. 2. Комбинации сред, использованных в опытах.

Слева — расположение зонда влагомера в положении «нуль»; 1 — источник нейтронов; 2 — рабочая часть счетчика СМ-11; 3 — кадмиевый цилиндр; 4 — цилиндр из оргстекла; 5 — стальная пластина; 6 — слой борной кислоты; 7 — влагонасыщенный песок.



Р и с. 4. Зависимости скорости счета медленных нейтронов от расположения зонда относительно середины слоя влагонасыщенного песка мощностью 24 см (цифры у кривых — номера вариантов опытов на рис. 3).

ный и сухих слоев на расположенный между ними влажный слой. Для имитации слоев, расположенных между винтовыми лопастями-экранами, использовали влагонасыщенный мелкозернистый кварцевый песок (объемная влажность около 40%). Мощность песчаных слоев 16 и 24 см. Лопасте-экраны имитировались комбинированными отражательно-поглощающими слоями: стальным с борной кислотой толщиной по 1 см каждый.

Варианты опытов приведены на рис. 3. Цилиндры из оргстекла имитировали слой 100%-ной влажности (I, II на рис. 3), а воздух над и под песчаным слоем «нулевую» влажность (III, IV на рис. 3).

Зонд влагомера содержал борный счетчик типа СНМ-11 и  $Pu + Be$ -источник нейтронов мощностью около  $10^5$  нейтр/сек. Не заэкранированная кадмием, т. е. чувствительная часть катода счетчика имела длину 4 см (общая длина 28 см). Расстояние от середины этой части счетчика до центра нейтронного источника (длина зонда) 6 см. «Нуль» зонда — точка, которая делит это расстояние пополам (см. рис. 3).

Из рис. 2 и 4 видно, что в случае применения экранов скорости счета в середине исследуемого слоя оказываются практически одинаковыми (с точностью в пределах ошибки измерений) независимо от величины влажности граничащих слоев. Погрешности в определении влажности исследуемого слоя без применения экранов составили бы не менее 100 и 25%. Отличие кривых рис. 2 от кривых рис. 4 объясняется различной толщиной слоя песка (16 и 24 см соответственно).

Предлагаемый способ улучшения вертикальной разрешающей способности нейтронного влагомера состоит в исследовании с применением реальных влажных лопастей-экранов, действие которых может оказаться не столь эффективным, как применение плоскостепенных экранов. Кроме того, необходимо выполнение исследований в направлении разработки методики интерпретации измерений, выполненных с применением предлагаемого винтолопастного экранного зонда.

Поступило в Редакцию 22/VII 1963 г.  
В окончательной редакции 4/VIII 1963 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

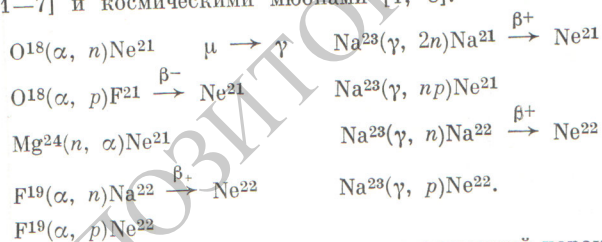
1. G. Lawless et al. Soil Sci. Soc. of America Proc., 27, 5 (1963).
2. В. А. Емельянов. Полевые радиометрические влагомеры и плотномеры. М., Атомиздат, 1966.
3. J. McHenry. Soil Sci. 95, 5 (1963).
4. В. А. Емельянов. Полевая радиометрия влажности и плотности почво-грунтов. М., Атомиздат, 1970.
5. Методические указания по измерениям влажности и плотности почво-грунтов радиометрическими влагомерами и плотномерами при почвенных и инженерно-геологических и гидромелиоративных изысканиях. Вып. 4, М., изд. ВНИИГиМ, 1969.
6. Л. И. Бескип. «Изотопы в СССР», № 7 (1967).

## О происхождении изотопа $Ne^{21}$ в радиоактивных минералах

Ю. А. ШУКОЛЮКОВ, В. Б. ШАРИФ-ЗАДЕ, Г. Ш. АШКИНАДЗЕ, Э. К. ГЕРЛИНГ

УДК 546.292:553.495

Неон, выделенный из урансодержащих минералов и природных гелиеносных газов, обогащен изотопами  $Ne^{21}$  и  $Ne^{22}$  [1—4]. Для объяснения обогащения предложены ядерные реакции с  $\alpha$ -частицами, нейтронами [1—7] и космическими мюонами [1, 8]:



Однако до сих пор расчеты имели качественный характер, так как было невозможно учесть потери неона минералами за геологическое время и, следовательно, правильно оценить количество  $Ne^{21}$ , генерируемое в минералах.

В настоящей работе приведены данные, позволяющие устранить неопределенности, связанные с потерями неона минералами.

В минералах при  $\alpha$ -распаде элементов семейства урана и тория образуется  $He^4$ . Кроме того, при спонтанном делении  $U^{238}$  и делении  $U^{235}$  тепловыми нейтронами генерируются изотопы криптона и ксенона. Поскольку известен изотопный состав ксенона и криптона

при спонтанном делении  $U^{238}$  [9] и нейтронно-индуцированном делении  $U^{235}$  [10], можно оценить долю продуктов спонтанного деления в найденном общем количестве ксенона и криптона, которые содержатся в минерале [9]. Определив таким образом содержание ксенона и криптона (продуктов только спонтанного деления  $U^{238}$ ) и радиогенного  $He^4$ , а также оценив возраст минерала  $t$  независимым уран-торий-свинцовым методом [11, 12], можно рассчитать коэффициенты сохранности  $C_{Ne}$ ,  $C_{Kr}$ ,  $C_{Xe}$  этих радиогенных газов. Результаты изучения нескольких десятков радиоактивных минералов [9] показывают, что значения коэффициентов сохранности гелия, криптона и ксенона зависят от атомного веса газа. Следовательно, интерполяцией может быть оценено и значение коэффициента сохранности неона в каждом минерале.

Для каждого образца минерала (кроме № 3) были проведены параллельные определения неона (см. таблицу). Изотопный состав при этом несколько различался, причем не столько из-за погрешности измерений ( $\pm 0,3$  отн. %), сколько за счет неизбежного попадания в аппаратуру из атмосферы некоторого количества неона, изотопный состав которого отличался от состава неона в образцах (см. таблицу).

Поскольку относительное содержание  $Ne^{20}$  в изотопной смеси всегда более чем в пять раз превышало содержание  $Ne^{22}$  (и тем более  $Ne^{21}$ ), поэтому весь  $Ne^{20}$  принимали за атмосферный и количество избыточных