

УДК 631.626

UDC 631.626

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ВЛАГИ ПРИ БОКОВОМ ПЕРИОДИЧЕСКОМ  
ПОДТОПЛЕНИИ ПОЧВО-ГРУНТА**

**MODELING MOISTURE DISTRIBUTION IN  
SIDE PERIODIC FLOODING OF SOIL-  
GROUND**

Гельмиярова Виктория Николаевна  
соискатель

Gelmiyarova Viktoria Nikolaevna  
applicant for degree

Хаджиди Анна Евгеньевна  
к.т.н., доцент

Hadzhidi Anna Evgenievna  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Гумбаров Анатолий Дмитриевич  
д.т.н., профессор  
*ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный  
университет», Краснодар, Россия*

Gumbarov Anatoly Dmitrievich  
Dr.Sci.Tech., professor  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar,  
Russia*

В статье рассмотрен процесс периодического подтопления почво-грунта на песчаной модели. Установлено, что в процессе бокового увлажнения грунта происходит перемещение влаги в виде затухающих колебаний

This article describes how the periodic flooding of soil on a sandy soil model. It was established, that during the lateral movement of moistening of the soil, the moisture has a form of damped oscillations

Ключевые слова: ПЛОДОРОДИЕ, ВПИТЫВАНИЕ, ВОДНЫЙ РЕЖИМ, УГОДЬЯ, ЗАПАС ВЛАГИ, АГРОЛАНДШАФТ

Keywords: FERTILITY, ABSORPTION, WATER TREATMENT, LAND, WATERSUPPLY, AGRICULTURAL LAND

Обоснование запасов влаги в почве является важной составляющей в разработке комплекса мероприятий по охране от подтопления и иссушения агроландшафтов.

Плодородие почв во многом зависит от водного режима территорий. Одним из факторов формирования водного режима почво-грунтов является впитывание воды в почву. Интенсивность впитывания в значительной степени определяет водный режим почвы и увеличение запасов грунтовых вод.

Интенсивность впитывания подвержена значительным изменениям в пространстве и времени. Отвод избыточных вод с подтопляемых сельскохозяйственных угодий путем устройства осушительных каналов и дренажей включает задачу определения распространения фронта влажности по всему профилю используемого сельскохозяйственного участка.

Для обоснования эффективности применения в природных условиях мелиоративной обработки почвы необходимы специальные комплексные

исследования. Прежде чем проводить изыскания и опытные полевые работы, связанные с большими затратами, целесообразно предварительно исследовать возможные варианты при подтоплении и осушении сельскохозяйственных земель методами моделирования.

Нами для исследования движения фронта влаги в грунте и подтверждения теоретического исследования был выбран способ физического моделирования на разработанной песчаной физической модели.

Рассматриваемый метод физического моделирования позволяет проводить исследование влажности грунта, а также прогнозировать его состояние в период подтопления или иссушения.

С учетом того, что физическое моделирование натурального грунтового потока на масштабных песчаных моделях аналогичных явлений одинаково воспроизводится в пористой среде, как в природе, так и на модели, то при помощи выбранных параметров можно изучить и проанализировать процесс влагопереноса, происходящий в период подтопления и переувлажнения на используемых сельскохозяйственных территориях. Необходимо рассмотреть взаимодействие выбранных параметров для того, чтобы дальнейшая математическая обработка данных позволила выбрать наилучшее соотношение изучаемых параметров [1, 2].

В данном опыте рассматривались параметры, которые в природных условиях влияют на уровень грунтовых вод в период подтопления и переувлажнения, т.е. на формирование водного режима почво-грунтов – это уровень воды в источнике увлажнения, удаленность от источника увлажнения и временной период [3].

Одной из задач нашего исследования стало определение распространения влажности в почво-грунте под действием подтопления и иссушения.

Продолжительность эксперимента составляла 30 дней. Общее число измерений в течение эксперимента включало около 6000 ежедневных отборов.

Расчеты стандартного отклонения, ошибки выборочной средней, коэффициенты вариации и относительные ошибки выборочной средней производились по стандартным методикам. Полученные результаты влажности почво-грунта обрабатывались программным обеспечением в среде Microsoft Excel методом наименьших квадратов. По экспериментальным данным были получены функциональные зависимости распространения влаги по уровням в почво-грунте [4].

Приведем графики, показывающие динамику увлажнения почво-грунта в течение первых трех суток (рис. 1–6).

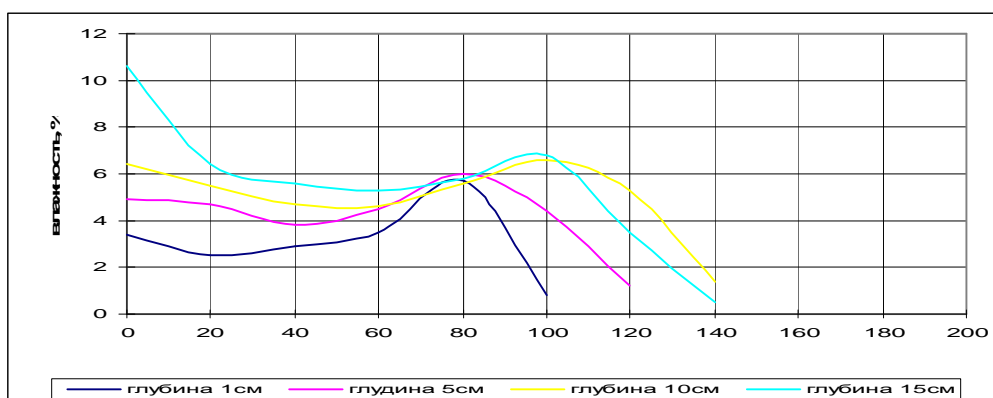


Рисунок 1. Увлажнение почво-грунта на первые сутки

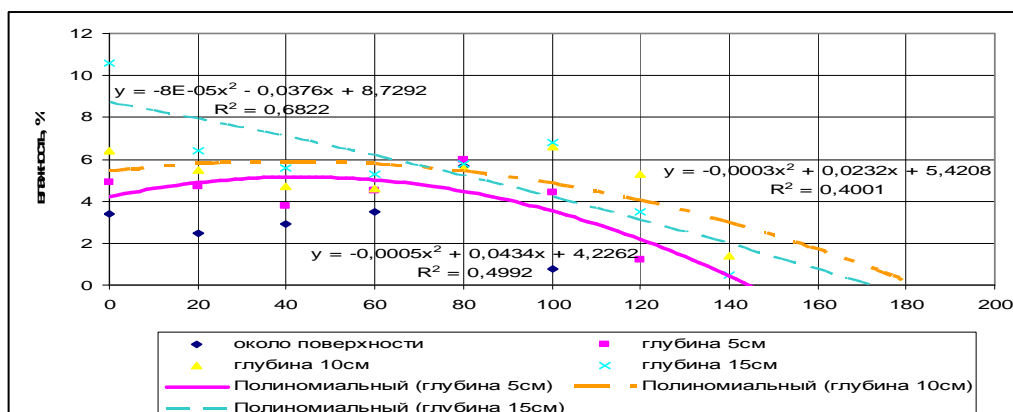


Рисунок 2. Обработанные данные увлажнения почво-грунта на первые сутки методом наименьших квадратов

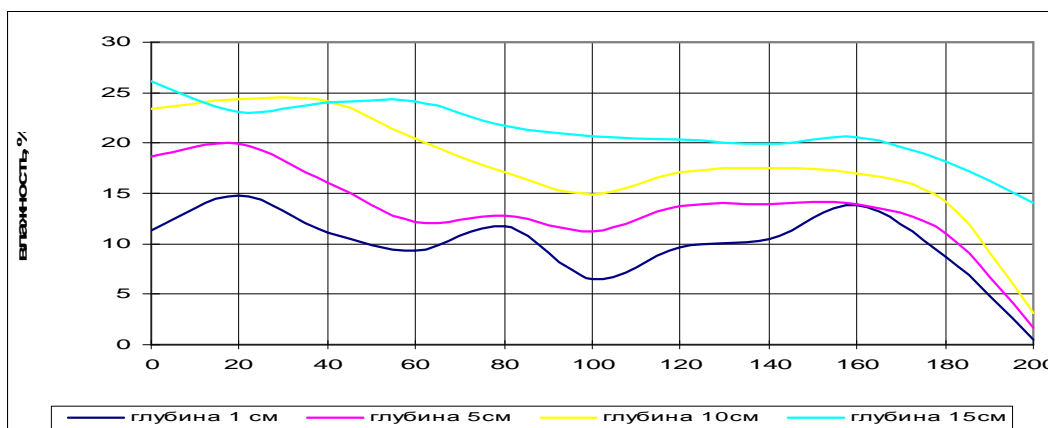


Рисунок 3. Увлажнение почво-грунта на вторые сутки

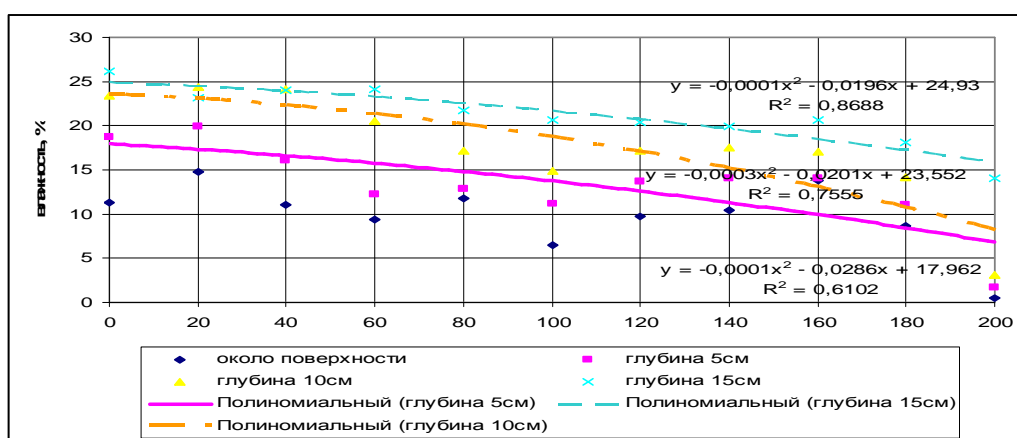


Рисунок 4. Обработанные данные увлажнения почво-грунта на вторые сутки методом наименьших квадратов

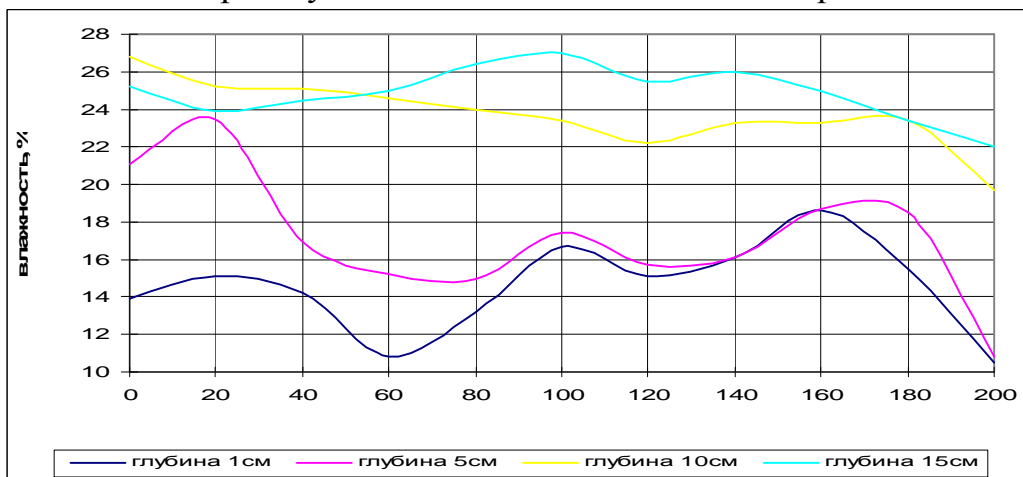


Рисунок 5. Увлажнение почво-грунта на третьи сутки

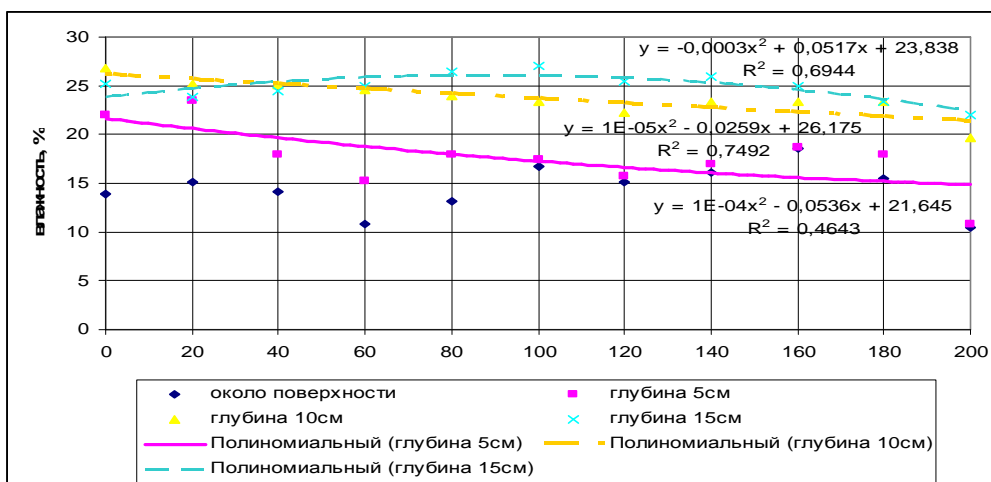


Рисунок 6. Обработанные данные увлажнения почво-грунта на трети сутки методом наименьших квадратов

По экспериментальным точкам были получены формулы распространения влаги по уровням на первые сутки увлажнения:

глубина – 5 см

;

(1)

глубина – 10 см

;

(2)

глубина – 15 см

.

(3)

Кривые увлажнения грунта на вторые сутки представлены на рисунке 3. По экспериментальным точкам были получены формулы распространения влаги по уровням:

глубина – 5 см

;

(4)

глубина – 10см

;

(5)

глубина – 15 см

.

(6)

Формулы распространения влаги по уровням на третьи сутки:

глубина – 5 см

;

(7)

глубина – 10 см

;

(8)

глубина – 15 см

.

(9)

Повторные опыты подтопления почво-грунта показали подобные результаты, диапазон отклонения составлял  $\pm 1,5$  %.

Таким образом, в результате исследования можно сделать вывод о том, что распространение влаги в почво-грунте при боковой фильтрации в ситуации периодического подтопления происходит в виде затухающих колебаний.

При аналогичном исследовании процесса иссушения почво-грунта на физической модели можно сделать вывод о том, что распространение влаги в почво-грунте при боковой фильтрации в ситуации иссушения происходит в виде затухающих колебаний.

При проведении повторного опыта иссушения были получены результаты, диапазон отклонения которых составлял не более  $\pm 2\%$ .

Следовательно, при обосновании движения влаги в почве при боковом периодическом подтоплении необходимо учитывать инертность почвенной среды. Инертность почвы заключается в накопительной способности пористой среды при периодически повторяющихся процессах. На исследуемой песчаной модели происходит периодическое боковое подтопление почво-грунта. С учетом выполненного моделирования считаем, что впитывание влаги в однородный грунт при боковом увлажнении из локального (единичного) источника происходит как колебательный процесс.

Для описания движения грунтовых вод (влаги) использовали метод Лагранжа. В каждой точке элементарной площадки можно говорить об установившемся перемещении влаги. Будем считать, что при рассмотрении любой элементарной площадки грунта за единицу времени проходит одинаковое элементарное увлажнение, то есть  $\frac{m}{t} = const$ , где  $m$  – масса жидкости фильтрационного потока, прошедшего через поперечное сечение элементарной площадки  $\Omega = d \cdot b$  за время  $t$  ( $d$  – высота;  $b$  – длина элементарной площадки) [130].

В результате выполнения ряда простых преобразований получим

$$m = r \cdot V, \text{ где } V = a \cdot \Omega, \quad (1)$$

то масса проходящей жидкости через поры однородного грунта равна

$$m = r \cdot a \cdot \Omega. \quad (2)$$

Разделив обе части равенства (2) на время  $t$  получим:

$$\frac{m}{t} = r \cdot \frac{a}{t} \cdot \Omega = r \cdot u \cdot \Omega, \quad (3)$$

где  $r$  – плотность жидкости;  $a$  – ширина рассматриваемой элементарной площадки;  $t$  – время увлажнения грунта;  $u$  – скорость боковой фильтрации в рассматриваемой элементарной площадке.

Из равенства (3) имеем:

$$u = \frac{m}{r \cdot t \cdot \Omega}. \quad (4)$$

Площадь основания очага увлажнения и поперечного сечения считали неизменяющимися величинами. Скорость боковой фильтрации прямо пропорционально зависит от глубины очага подтопления и обратно пропорциональна времени увлажнения грунта. Действительно, если рассматривать сечение около источника увлажнения, то, чем глубже расположена площадка, тем большее давление она испытывает и тем больше сила  $F$  продавливания влаги в почву

$$F = p \cdot \Omega = r \cdot g \cdot \Delta h \cdot \Omega, \quad (5)$$

где  $p$  – давление жидкости на боковую площадку источника увлажнения;  $r$  – плотность жидкости;  $\Delta h$  – глубина погружения элементарной площадки.

Поэтому скорость фильтрации можно записать следующим образом:

$$u = \frac{W}{t \cdot \Omega} = \frac{S \cdot \Delta h}{t \cdot \Omega}, \quad (6)$$

где  $S$  – площадь проекции основания источника увлажнения.

В качестве упругой среды имеем почво-грунт в естественном состоянии. Источник увлажнения возбуждает впитывание влаги в почво-



грунт частицы среды. Вследствие взаимодействия частиц увлажнение будет распространяться в среде от частицы к частице с некоторой скоростью фильтрации  $u$ .

Увлажнение грунта при боковом впитывании происходит безнапорной фильтрацией. При повторном и далее циклическом увлажнении почвы влага в почве перемещается «продольными волнами». При распределении продольной волны в грунте создаются чередующиеся сгущения (насыщение влажностью) и разрежения (перемещения влаги в направлении распространения волны). Этот процесс, распространяясь от источника увлажнения (источника колебаний), охватывает все новые и новые части пространства (грунта) последовательно. Фронт волны представляет собой ту поверхность, которая отделяет собой часть пространства, уже увлажненного, вовлеченного в процесс, от области, в которой увлажнение еще не началось, где колебания еще не возникли.

Благодаря использованию теории волнового движения, можно сделать вывод о том, что одновременное распространение нескольких волн происходит по принципу суперпозиции. Если произошло наложение волн в какой-либо точке своими сгущениями или своими разрежениями, то влажность в этой точке возрастает. Если сгущение одной волны налагается на разрежение другой, то влажность в этой точке уменьшается. Возникает устойчивая интерференционная картина, в которой в некоторых точках увлажнения при сложении усиливают друг друга, в других точках, наоборот, ослабляют [6].

Следовательно, при периодическом подтоплении движение влаги представляет собой процесс распространения гармонических колебаний. Боковое увлажнение в точке, меняющееся по времени, можно представить в аналитическом виде следующим уравнением:

$$W(t) = A \cdot \cos(w \cdot t), \quad (7)$$

где  $A$  – амплитуда изменения влажности;  $w$  – фаза колебания влажности.

Распространение влажности вдоль некоторого направления на расстояние  $x$  происходит с некоторым запаздыванием  $t_1$ , которое учитывается скоростью фильтрации в почво-грунте. Тогда этот процесс (7) можно представить в виде уравнения гармонических колебаний:

$$W(t, x) = A \cdot \cos(w \cdot (t - t_1)), \quad (8)$$

где  $t_1 = \frac{x}{u}$  – время прохождения влагой расстояния  $x$ .

В процессе бокового увлажнения грунта происходит поглощение влаги средой. При распространении влаги в поглощающей среде интенсивность её с удалением от источника увлажнения постепенно уменьшается. Этот процесс согласуется с уравнением (7).

Учтем в уравнении (8) уменьшение влажности вдоль расстояния  $x$  от источника увлажнения, т.е. затухающие колебания, которые описываются по экспоненциальному закону:

$$A = A_0 \cdot e^{-xh}, \quad (9)$$

где  $A_0$  – амплитуда в точках плоскости  $x$ ,  $h$  – коэффициент вязкости.

Таким образом, выражение (8) распространения влажности при боковом увлажнении с течением времени можно представить в виде:

$$W(t, x) = A_0 \cdot e^{-xh} \cdot \cos\left(w \cdot \left|t - \frac{x}{u}\right|\right). \quad (9)$$

С учетом скорости боковой фильтрации  $u$ , распространения влажности при боковом увлажнении с течением времени, величины источника увлажнения и УГВ формула (9) примет вид:

$$W(t, x) = A_0 \cdot e^{-xh} \cdot \cos\left(w \cdot t \cdot \left|1 - \frac{x \cdot \Omega}{S \cdot \Delta h}\right|\right). \quad (10)$$

На рисунках 7 и 8 представлены экспериментальные данные и полиномиальная линия тренда, показывающие процесс увлажнения при боковой фильтрации. На графиках 7–8 указана величина достоверности степени аппроксимации.

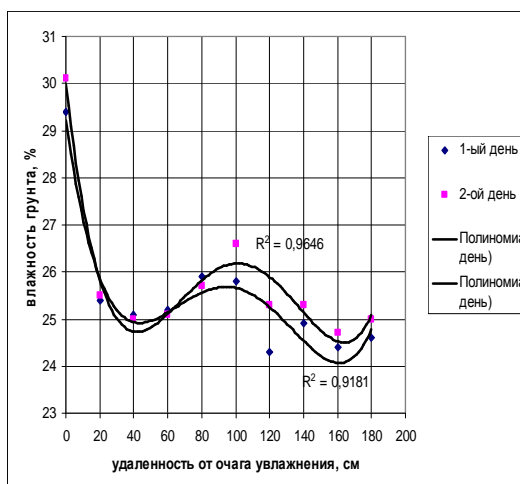


Рисунок 7. Кривая увлажнения почво-грунта на глубине 10 см в первые два дня

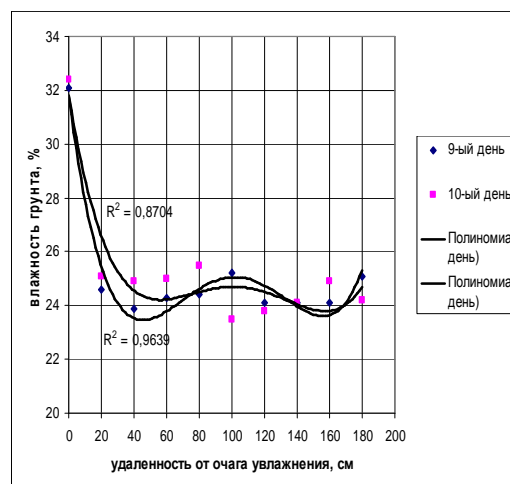


Рисунок 8. Кривая увлажнения почво-грунта на глубине 10 см в последние два дня

Таким образом, полученная полуэмпирическая формула (10) распространения влажности в зависимости от параметров увлажнения в однородной грунтовой среде позволяет оценить динамику влажности при подтоплении и иссушении почво-грунта.

### Список литературы

1. Адлер Ю.П. Об одном методе формализации априорной информации при планировании эксперимента / Ю.П. Адлер, И.Ф. Александрова, Ю.В. Грановский, и др. // Планирование эксперимента: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1966. – 245 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский // М.: Наука, 1976. – 203 с.
3. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях // Финансы и статистика. М., 1981. – 263 с.
4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: Учебник, М.: Изд-во МГУ, 1995. –320 с.:ил.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) // – Изд. 5-е, доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с., ил. – (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений)
6. Кузнецов М.Я. Разработка и использование математических моделей для исследования водного обмена на мелиорируемых землях: Автореф. дис. канд. техн. наук / М.Я. Кузнецов // МнГУ. – М., 1999. – 21 с.
7. Левин Я.К. Методика моделирования движения промывных вод для обоснования вариантов промывок и дренажа. – Новочеркасск, 1973. – С. 40.