

УДК 532.546, 628.36 (575.2) (04)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЛАБОРАТОРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИНФИЛЬТРАЦИИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

К.Ч. Кожоголов – докт. техн. наук,
М.Дж. Джаманбаев – докт. физ.-мат. наук,
Ю.П. Барбат – канд. географ. наук,
Г.Н. Фалалеев – канд. техн. наук,
С.Б. Омуралиев – научн. сотрудник

The present paper contains the results of infiltration process assessment within laboratory environment with field research on Valdai Hills and in Salsk steppe.

Введение. В Институте физики и механики горных пород НАН КР (ИФимГП) в лабораторных условиях на специально созданных установках проведен ряд экспериментов по изучению влияния на инфильтрацию механического состава грунта и интенсивности дождевания. При этом интенсивность дождевания (v_0) принята 0,30 и 0,44 мм/мин с учетом того, что повышенная опасность схода оползней возникает при ливневых осадках с интенсивностью близкой к этим величинам – 20 мм/час или 0,30 мм/мин [3].

Сравнительная оценка лабораторных и полевых экспериментов по инфильтрации атмосферных осадков проведена по наблюдениям [4, 5] и результатам лабораторных исследований.

Цель исследования. Оценить результаты лабораторных и полевых экспериментов по инфильтрации атмосферных осадков от продолжительности дождевания.

Методы исследования. Проведен графический и корреляционный анализы для выявления зависимостей интенсивности и суммарной инфильтрации от продолжительности дождевания.

Один из главных факторов развития оползневых процессов – климатические условия и в

первую очередь атмосферные осадки [1–3]. Особую опасность представляют весенние дожди, которые наряду с тальми водами обуславливают интенсивную инфильтрацию воды в грунт и насыщение его влагой. Это приводит к росту порового давления, набуханию грунта, уменьшению сил сопротивления трению и сцепления, что является причиной схода оползней [2].

Инфильтрация характеризуется установленным движением воды и протекает под действием гравитационных сил ее тяжести [4]. В количественном отношении инфильтрация может быть охарактеризована интенсивностью и суммарной величиной. Под интенсивностью инфильтрации понимается количество воды, впитывающейся в грунт в единицу времени (мм/мин). Суммарная инфильтрация зависит от слоя воды (мм) и представляет собой количество впитывающейся в грунт воды за тот или иной промежуток времени. Данные лабораторных экспериментов сравнивали с натурными (полевыми) наблюдениями за инфильтрацией на Валдайской возвышенности и в Сальской степи.

Валдайская возвышенность расположена в условиях повышенного увлажнения. Эксперименты проведены на слабоподзолистых почвах, сложенных супесями. При определении

зависимости интенсивности инфильтрации от продолжительности дождевания с интенсивностью 0,58 мм/мин установлено, что максимальная продолжительность эксперимента составляет 40 мин [4]. Эта зависимость (рис. 1) аппроксимирована в виде уравнения:

$$V = 2,5511t^{-0,4673}, \quad \eta=0,987, \quad (1)$$

где V – интенсивность инфильтрации, мм/мин; t – продолжительность дождевания, мин; η – корреляционное отношение.

Наиболее близкие показатели получены в эксперименте с образцом грунта, состоящем из глины и песка в соотношении 40:60% при интенсивности дождевания 0,44 мм/мин (рис. 1). Уравнение регрессии имеет вид

$$V = 1,4844t^{-0,3936} \quad \eta=0,988. \quad (2)$$

В Сальской степи полевые исследования проведены на каштановых почвах, представленных суглинками, в условиях аридного климата. Зависимости интенсивности инфильтрации от продолжительности дождевания при различной ее интенсивности от 0,5 до 2,0 мм/мин свидетельствуют о том, что с ростом интенсивности дождя возрастает интенсивность инфильтрации [5]. Согласно рис. 1 максимальная продолжительность эксперимента составляет также 40 мин.

Наиболее близкие к лабораторным экспериментам данные получены при интенсивности дождевания в 1 мм/мин (рис. 1). Уравнение регрессии имеет вид

$$V = 1,3992t^{-0,3476} \quad \eta=0,994. \quad (3)$$

Результаты и обсуждения. Уравнение зависимости интенсивности инфильтрации от продолжительности дождевания в лабораторных условиях для образца грунта с 40% глины и 60% песка при интенсивности дождевания $v_0=0,44$ мм/мин (2) близки уравнениям зависимости, полученным и в натурных исследованиях на Валдайской возвышенности (1) при $v_0=0,58$ мм/мин и в Сальской степи (3) при $v_0=1,00$ мм/мин и продолжительности опытов 40 мин. Эти уравнения были использованы при расчете суммарной инфильтрации при $t=120$ мин (максимум в лабораторных условиях). При этом лабораторные показатели имели близкие значения с натурными. Расхождение не превышало в среднем 10%.

С.Ф. Федоров [4] констатирует, что с увеличением продолжительности эксперимента уменьшается инфильтрация. Начальный период поступления воды на поверхность почвы характеризуется весьма высокой скоростью поглощения. В течение некоторого времени она равна скорости поступления воды, затем начинает резко снижаться и через определенный период достигает своего постоянного значения (рис. 1).

Для получения сравнительных данных полевых экспериментов с лабораторными были рассчитаны уравнения суммарной инфильтрации от продолжительности дождевания для Валдайской возвышенности и Сальской степи. Суммарная инфильтрация подсчитывалась по графикам (рис. 1), через каждые пять минут в промежутке времени 10–40 мин по уравнению

$$Y = Vt, \quad (4)$$

где Y – суммарная инфильтрация, мм; V – интенсивность инфильтрации, мм/мин; t – промежуток времени, соответствующий каждому значению интервалов, мин. Зависимости суммарной инфильтрации от продолжительности дождевания показаны на рис.2.

Уравнения регрессии имеют вид:

$$\text{для Валдайской возвышенности} \\ Y = 0,3286t + 5,6, \quad r=0,994 \quad (5)$$

$$\text{для Сальской степи} \\ Y = 0,3143t + 3,3, \quad r=0,998, \quad (6)$$

где Y – суммарная инфильтрация, мм; t – продолжительность дождевания, мин; r – коэффициент корреляции.

Суммарная инфильтрация рассчитана по этим уравнениям, продолжительность эксперимента – 120 мин. Для Валдайской возвышенности она составила – 45 мм, для Сальской степи – 41 мм, по данным лабораторных экспериментов – 38 мм, погрешность расчетов 16 и 7%.

Результаты экспериментов на Валдайской возвышенности существенно отклоняются от результатов лабораторных испытаний. Этот район характеризуется повышенными значениями влажности почвы (25,3%) и пористости грунта (54%). Здесь преобладает песчаная фракция (диаметр частиц 0,05–0,25 мм и более), что обуславливает увеличение водопоглощающей способности грунтов.

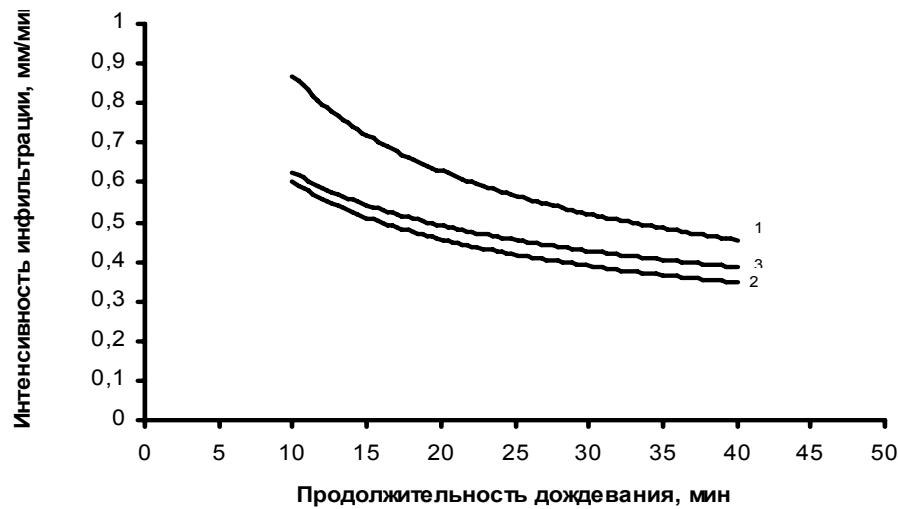


Рис. 1. Зависимости интенсивности инфильтрации от продолжительности дождевания: 1 – Валдайская возвышенность, 2 – Опыты ИФиМГП, 3 – Сальская степь

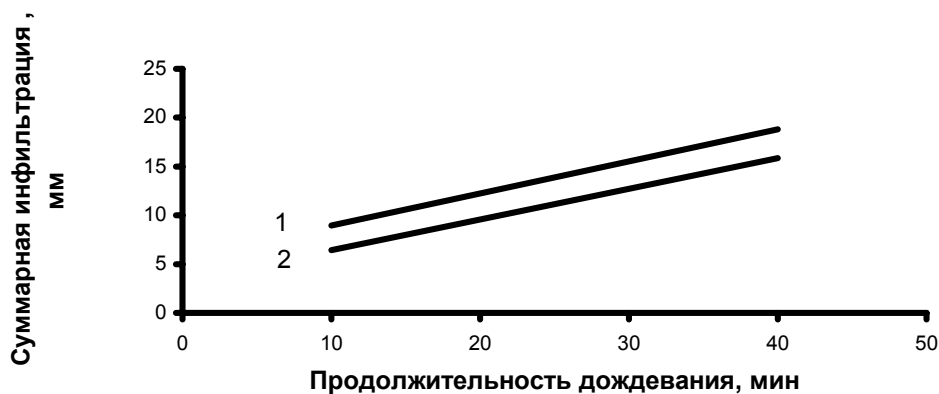


Рис. 2. Зависимости суммарной инфильтрации от продолжительности дождевания: 1 – Валдайская возвышенность, 2 – Сальская степь

В отличие от Валдайской возвышенности Сальская степь характеризуется небольшой пористостью (42%) и низкой влажностью грунтов (8,8%). В гранулометрическом составе песчаные фракции отсутствуют, доминируют мельчайшие пылеватые и илистые (диаметр частиц 0,05–0,005 мм и менее). Это обуславливает резкое уменьшение пористости и при выпадении дождя ведет к заилению и набуханию грунта, за счет чего заметно снижается скорость инфильтрации. Поэтому глубина промачивания за один и тот же промежуток

времени в Сальской степи при интенсивности дождевания в 1 мм/мин оказалось равной полученной в результате экспериментов при интенсивности дождевания в 0,44 мм/мин, в образце грунта которого преобладают песчаные фракции (60%).

Установлено, что на активизацию оползней сильно влияют ливневые дожди, продолжающиеся длительное время – от двух до трех суток и более. Нами, по формуле (6) подсчитано, что в районе Сальской степи при ливневых осадках с интенсивностью 1 мм/мин за

двое суток (2880 мин) инфильтрация достигнет глубины 0,91 м. При таком промачивании грунт приходит в текучее состояние и сходит по склону в виде оплывин [1].

Таким образом, эксперименты могут найти практическое применение, поскольку они почти полностью совпадают с полевыми исследованиями.

Подобные нашим эксперименты проводили Е.А. Гибшман с образцами грунта с различным процентным содержанием песчано-глинистых фракций. В.И. Корзун приводит результаты этих экспериментов в виде графиков линейной связи суммарной инфильтрации от продолжительности дождевания с интенсивностью $v_0=1$ мм/мин при максимальной продолжительности опытов 240 мин [6]. При этом суммарная инфильтрация в образцах грунта с большим содержанием песка (60–90%) в несколько раз выше, чем при малом (30–40%). Аналогичные результаты получены нами.

Для образца грунта, состоящего из глины (40%) и песка (60%), вычислена суммарная инфильтрация при продолжительности опыта в 120 мин (максимум в наших опытах). Она составляет $Y_1=110$ мм при интенсивности дождевания $v_1=1$ мм/мин.

По данным лабораторных экспериментов, за 120 мин для образцов грунта с указанным выше сочетанием песчано-глинистых фракций суммарная инфильтрация составляет $Y_2=38$ мм при $v_2=0,44$ мм/мин и 32 мм при $v_3=0,3$ мм/мин. Для того чтобы сравнить данные экспериментов, необходимо получить расчетные величины суммарной инфильтрации Y_{2p} при v_2 и Y_{3p} при v_3 , используя результаты эксперимента Е.Г. Гибшмана.

Сделано предположение, что расчетные значения Y_{2p} и Y_{3p} во столько раз меньше Y_1 , во сколько v_1 больше v_2 и v_3 . Соответственно они больше в 2,27 раза (коэффициент K_1) при v_2 и 3,33 раза (K_2) при v_3 . Отсюда следует, что расчетные значения соста-

$$\text{вят } Y_{2p} = \frac{Y_1}{K_1} = 110/2,27 = 48,5 \text{ мм при } v_2 \text{ и}$$

$$Y_{3p} = \frac{Y_1}{K_2} = 110/3,33 = 33 \text{ мм при } v_3.$$

Относительная ошибка расчетов при v_2 составляет 21,6% и при v_3 – 3,0%, что свидетельствует о вполне удовлетворительной сходимости наших экспериментов и опытов Е.Г. Гибшмана.

Данные лабораторных экспериментов могут найти практическое применение, поскольку расхождения с показателями полевых исследований имеют незначительные отклонения. Наиболее полное совпадение имеют лабораторные экспериментальные данные по инфильтрации атмосферных осадков с полевыми исследованиями грунтов Сальской степи, при этом расхождение не превышает 7%.

Литература

1. *Айтматов И.Т., Кожоголов К.Ч., Никольская О.В.* Геомеханика оползнеопасных склонов. – Бишкек: Илим, 1999. – 210 с.
2. *Ниязов Р.А.* Оползни в лессовидных породах. – Ташкент: ФАН, 1974. – 148 с.
3. *Morgenstern N.R. de Matos.* Stability of slopes in Residual soil // Proceedings of 5-th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 1975. – Vol. 3. – P. 367–383.
4. *Федоров С.Ф.* Экспериментальное изучение инфильтрации на слабоподзолистых почвах // Тр. Гос. гидрол. ин-та. – Л.: Гидрометеиздат, 1954. – Вып. 46(100). – С. 48–72.
5. *Коль С.А.* Полевые экспериментальные исследования потерь дождя на инфильтрацию методом искусственного дождевания в Сальской степи // Тр. Гос. гидрол. ин-та. – Л.: Гидрометеиздат, 1950. – Вып. 24(78). – С. 72–108.
6. *Корзун В.И.* Вопросы инфильтрации в почву и возможности для прогноза дождевых паводков. /Тр. ЦИП. Л.: Гидрометеиздат, 1953. Вып. 30(57). с.40-90.