

УДК 631.459.2:631.43

UDC 631.459.2:631.43

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agricultural sciences

**ИЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ КАК
ФАКТОР ВОДНОЙ ЭРОЗИИ В ОРОШАЕМЫХ
ПОЧВАХ ЗАВОЛЖЬЯ**

**ILLUVIAL PROCESSES AS A FACTOR OF
WATER EROSION IN IRRIGATED SOILS OF
THE ZAVOLZHUE REGION**

Фалькович Александр Савельевич
Доктор технических наук
SPIN-код eLIBRARY 1646-7288
*ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский
Саратовский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского»
410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83
e-mail ректора: rector@sgu.ru*

Falkovich Alexander Savelievich
Doctor of technical Sciences
SPIN-code eLIBRARY 1646-7288
*"National research Saratov state University named
after N. G. Chernyshevsky"
410012 Russia, Saratov, Astrahanskaya St., 83
e-mail of the rector: rector@sgu.ru*

В статье рассматривается один из видов водной эрозии – иллювиальный процесс, перераспределение дисперсных частиц в почвенном профиле при орошении. Предложено описание процесса перемещения илистых частиц в почвенном профиле на основе теории движения вязкопластичных сплошных сред

The article considers one of the types of water erosion – illuvial process, the redistribution of dispersed particles in the soil profile due to irrigation. The proposed description of the process of moving silt particles in the soil profile is based on the theory of viscose-plastic continuum motion

Ключевые слова: ИРРИГАЦИОННАЯ ЭРОЗИЯ, ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ, ИЛЛЮВИАЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС, ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПОЧВ, ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНАЯ ЖИДКОСТЬ

Keywords: IRRIGATION EROSION, PERMEABILITY, ILLUVIAL PROCESS, SOIL DISPERSION, VISCOSE-PLASTIC FLUID

Ирригация, развернутая во второй половине XX века, значительно изменила водный баланс агроландшафтов поволжских областей. На сельскохозяйственное поле (объект орошения) добавочно подавалось 30-60% от естественного поступления влаги, значительная часть которой шла на питание грунтовых вод. Это привело к изменению водно-солевого баланса и условий почвообразования, что послужило причиной негативных изменений мелиоративного состояния орошаемых земель – подъему уровня грунтовых вод, вторичному засолению, осолонцеванию.

Неблагоприятные мелиоративные процессы, развивающихся на орошаемых землях в результате использования неадаптивных почвенно-мелиоративным условиям систем поливов, ошибок при проектировании или эксплуатации оросительных систем, а также их несвоевременной

реконструкции могут привести к изменению коэффициентов фильтрации и функций влагопроводности почв. Эти изменения фильтрационных свойств, в свою очередь могут привести к усиленному питанию грунтовых вод и развитию гидроморфного водного режима. Водный режим играет важную роль в генезисе различных типов и подтипов почв, формировании их генетических горизонтов, физических, химических, биологических и агрохимических свойств. Кроме того, он, определяя миграцию солей, питательных элементов, органических и неорганических коллоидов, токсикантов, обуславливает воздушный, солевой, питательный и тепловой режимы.

Подвижность тонкодисперсных частиц в почвенном профиле и их устойчивость к различным воздействиям являются важнейшим показателем для различных процессов почвообразования: оподзоливания, лессиважа, оглеения, осолонцевания, осолодения. Под воздействием орошения эта подвижность может возрасти, становясь причиной одного из видов внутрипочвенной водной эрозии – иллювиального процесса. Как правило, диспергирование почвенных агрегатов и перемещение илистых частиц в почвенном профиле связано с изменениями в составе почвенно-поглощающего комплекса и проявляется на солонцах и осолонцованных почвах.

Несмотря на сокращение площадей орошаемых земель в Поволжье, при котором из числа орошаемых исключались в первую очередь неблагоприятные в мелиоративном отношении земли, доля земель с признаками солонцеватости остается значительной [1].

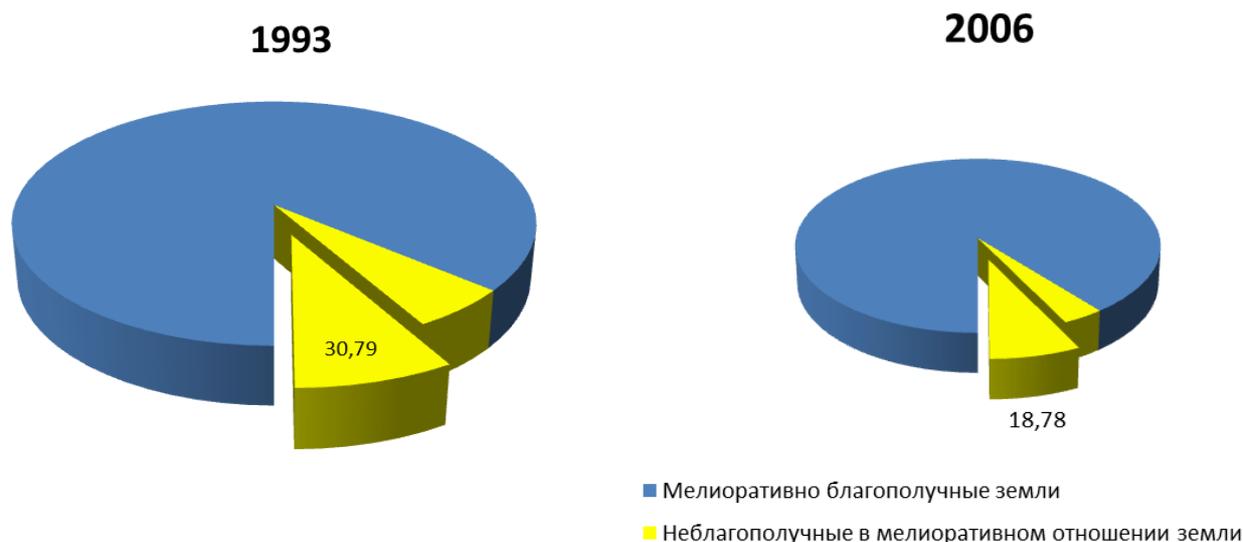


Рисунок 1 – Орошаемые земли с различной выраженностью солонцеватости (тыс. га), в общем составе орошаемых земель Саратовской области в 1993 и 2006 годах отражены на вырезанных секторах. Эти сектора включают также земли, неблагоприятные по двум или трем факторам, включая осолонцевание. Площадь орошаемых земель в Саратовской области с 1993 до 2006 сократилась с 371,5 тыс. га до 257,3 тыс.га.

Большинство исследователей склоняется к концепции, высказанной К. К. Гедройцем [2], согласно которой миграция илистых частиц по профилю происходит без их разрушения, в виде суспензий и коллоидных растворов, а не в виде истинных растворов. Убедительные доказательства наличия передвижения илистых частиц в почвах, а также методика диагностики процессов оподзоливания, лессиважа и оглеения даны в работах [3]-[6].

Экспериментальные работы по изучению передвижения тонкодисперсных частиц проводились С. В. Ковеня, М. К. Мельниковой [7, 8] в лабораторных условиях на монолитах изотопными и другими методами. Из зарубежных работ следует отметить статьи Х. Френкеля с соавторами [9, 10], в которых рассматривается связь перераспределения дисперсных частиц в

почвенном профиле с изменением фильтрационных свойств почвогрунта. В этих статьях, а также в работе [11] исследовано влияние валентности поглощенных катионов и минерализации раствора на процессы набухания и диспергирования глинистых агрегатов.

Иллювиальные процессы в условиях орошения на северокавказских черноземах были отмечены в работе [12]. В Заволжье процессы перемещения илистых частиц в почвенном профиле отмечены в почвах лиманов [13-14] и на орошаемых солонцах и каштановых почвах.

Иллювиальные процессы были отмечены на орошаемых почвах в долине реки Волги (Энгельсская оросительная система). Образцы почвы осолоделого солонца брались в 1972 г. (до начала орошения) и в 1984 г. – 12 лет орошения. Данные мехсостава показали увеличение доли илистых частиц в В-горизонте (28-36 см) с 34,2% до 40%.

На рисунке приведено распределение илистых частиц (<0,001 мм) в почвенном профиле по данным микроагрегатного анализа на солонцовых почвах долины реки Волги. Данные получены совместно с В. М. Пряжиной (ВолжНИИГиМ). Неорошаемая почва может служить аналогом первоначального состояния орошаемого участка до начала орошения. Следует отметить, что уменьшение доли илистой фракции в верхнем слое (0-20 см) значительно меньше, чем увеличение этой доли в нижележащих слоях. В верхнем слое происходит разрушение почвенных агрегатов, и именно из разрушенных агрегатов илистые частицы выносятся в нижележащие слои. Аналогичное распределение мелкодисперсных частиц отмечено в экспериментах [7-10].

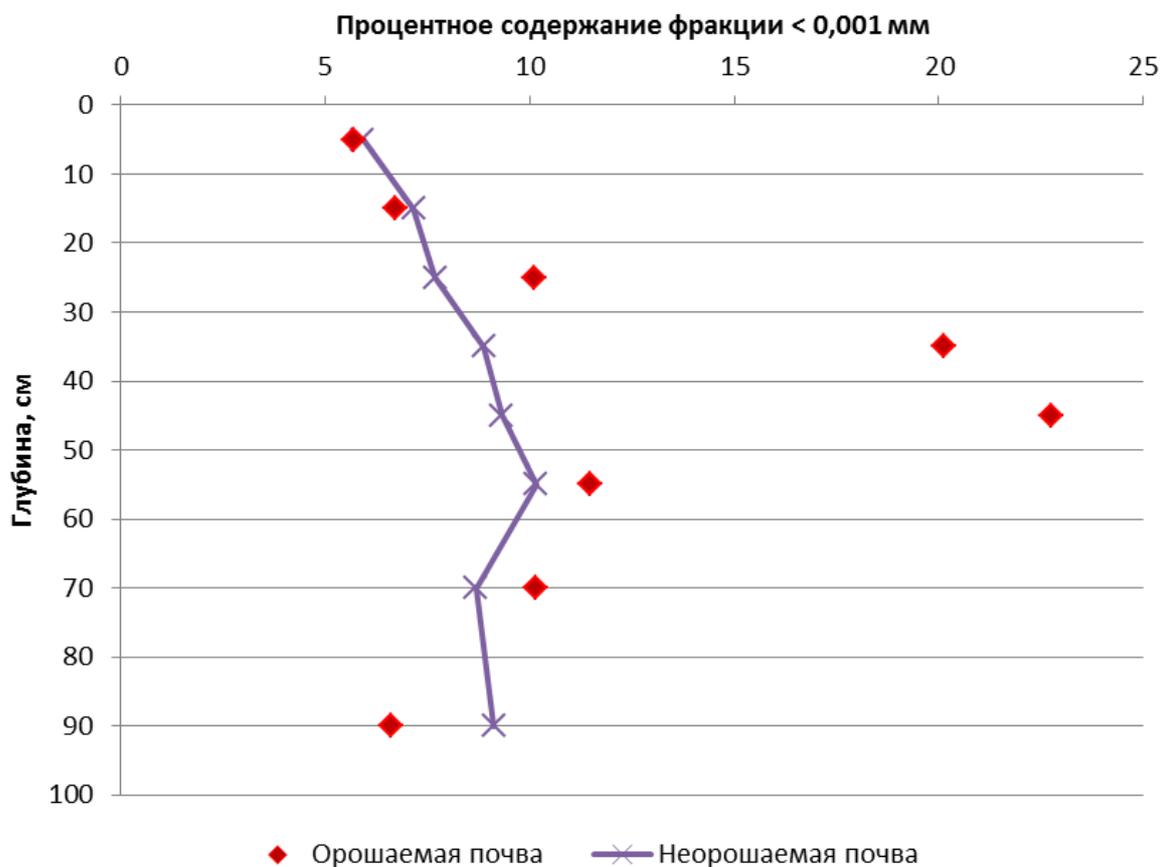


Рисунок 2 – Распределение илстых частиц в почвенном профиле орошаемого солонцового участка и соседнего неорошаемого. Долина реки Волги, Приволжская ОС (северный массив).

Для прогноза возможности возникновения иллювиального горизонта, его местоположения и предполагаемых характеристик (дисперсности, пористости, коэффициента фильтрации) необходима модель переноса твердой фазы почвогрунта. Не останавливаясь на вопросах диспергирования агрегатов почвогрунта и осаждения частиц, рассмотрим движения влаги совместно с взвешенными в ней частицами. Почвенные воды, содержащие взвесь илстых частиц, можно уподобить глинистой суспензии весьма малой концентрации и использовать модель вязкопластичной жидкости,

применяющуюся для описания движения подобных растворов в трубах и каналах [15].

В этой модели вязкость и начальный (предельный) градиент жидкости линейно зависят от концентрации в ней илистых частиц, которая меняется как по времени, так и по координате. Поскольку минералогический состав илистых частиц можно считать достаточно однородным с плотностью ρ_p , удобнее рассматривать зависимости вязкости и начального градиента не от концентрации частиц, а от плотности слабоконцентрированной суспензии, то есть воды с взвешенными в ней илистыми частицами. Плотность суспензии связана с объемной концентрацией частиц в почвенных водах с соотношением

$$\rho = \frac{1}{1+c} (\rho_w + c \cdot \rho_p), \quad (1)$$

где ρ – плотность суспензии;

ρ_w – плотность воды.

При малой концентрации дисперсных частиц c это соотношение принимает вид

$$\rho = \rho_w + c \cdot \rho_p. \quad (2)$$

В таком случае движение слабоконцентрированной суспензии в пористой среде при увеличении количества дисперсных частиц описывается системой уравнений, в которую входят вязкость и начальный градиент, зависящие от плотности слабоконцентрированной суспензии в данной точке и в данный момент времени. По этой причине удобнее использовать в уравнении не коэффициент фильтрации K , а проницаемость k , которая связана с коэффициентом фильтрации K соотношением $K = k/\mu$ и имеет размерность м^2 . Соответственно, в уравнении движения используется не

безразмерный градиент напора $\frac{dH}{dx}$, а градиент давления $\frac{dp}{dx}$, имеющий размерность Н/м².

Уравнение движения слабоконцентрированной суспензии имеет вид

$$u = \frac{k}{\mu} \left(-\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\partial(u\rho)}{\partial t} - \gamma - g \frac{\partial}{\partial x}(\rho x) \right). \quad (3)$$

где u – скорость движения жидкости, м/с

ρ – плотность слабоконцентрированной суспензии, то есть почвенной влаги с взвешенными в ней мелкодисперсными частицами, кг/м³;

μ – вязкость слабоконцентрированной суспензии, Па·с;

1 пуаз = 0,1 Па·с = 0,1 Н·с/м²;

k – проницаемость почвы, м² или дарси, 1 дарси = 1·10⁻¹² м²;

γ – начальный градиент, кг/(с²·м²)

t – время, с;

x – вертикальная координата, м;

ρ – внешнее давление, Н/м²

$\rho \cdot g \cdot x$ – гидростатический напор.

Уравнение баланса должно включать в себя функцию источника $a(t)$, описывающую интенсивность выделения мелкодисперсных частиц в поток жидкости. Эта функция может быть определена из кинетики диспергирования

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -\omega a, \quad (4)$$

откуда

$$a = a_0 e^{\omega(t_0 - t)}, \quad (5)$$

где ω – безразмерный параметр;

a_0 – выделение частиц в первоначальный момент

$t_0 = t_0(x)$ – время, с которого начинается вынос частиц (время, когда до точки x доходит фронт с заданной минерализацией).

Уравнение баланса имеет вид

$$m \frac{\partial \rho}{\partial t} = - \frac{\partial}{\partial x} (u \rho) - \frac{\partial a}{\partial t}. \quad (6)$$

где m – пористость, доли единицы.

Кроме того, модель должна содержать зависимость вязкости μ и начального градиента γ от плотности слабоконцентрированной суспензии ρ :

$$\mu = \mu_0 (1 + \alpha_1 (\rho - \rho_0)); \quad (7)$$

$$\gamma = \gamma_0 (1 + \alpha_2 (\rho - \rho_0)). \quad (8)$$

где ρ_0 , μ_0 и γ_0 – плотность, вязкость и начальный градиент воды;

α_1 , α_2 – безразмерные эмпирические параметры.

Вязкость воды μ_0 равна 0,001308 Па·с при температуре 10°C.

Начальный градиент воды γ_0 можно считать равным нулю.

Таким образом, модель перемещения илистых частиц в почве, кроме проницаемости (вычисляемой на основе коэффициента фильтрации) и пористости, содержит эмпирические параметры ω , α_1 и α_2 .

Система уравнений (3)-(7) допускает решение в характеристиках.

Характеристики представляют собой следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{u}{m} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{1}{m} \frac{\partial a}{\partial t} \end{array} \right. \quad (9)$$

В этом случае $\frac{\partial x}{\partial t}$ не является законом движения жидкости или дисперсных частиц.

Интегрируя (9), получаем уравнение характеристики

$$x = \frac{1}{m} \int_{t_0}^t u dt, \quad (10)$$

При этом плотность слабоконцентрированной суспензии вдоль характеристики выражается соотношением

$$\rho = \rho_0 + \frac{a_0}{m} e^{\omega(t_0-t)}. \quad (11)$$

Соотношения (10) и (11) могут быть использованы для определения параметров модели путем обработки лабораторного или полевого эксперимента. В этом эксперименте должны быть определены скорость движения и объем протекшей через исследуемый слой жидкости, а также послойное распределение илистых частиц до и после эксперимента.

Список литературы

1. Пронько, Н. А. Влияние ирригационного техногенеза на водно-солевой режим темно-каштановых почв и формирования растительных сообществ в Саратовском Заволжье / Н. А. Пронько, А. С. Фалькович, В. С. Бурунова, Е. Н. Шевченко. – Саратов: Изд-во Саратовского ГАУ, 2006. – 120 с.
2. Гедройц, К. К. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения / К. К. Гедройц // Избранные научные труды. – М.: Наука, 1975. – С. 50-107.
3. Горбунов, Н. И. О передвижении илистых и коллоидных частиц в почвах / Н. И. Горбунов // Почвоведение. – 1961. – № 7. – С. 13-28.
4. Горбунов, Н. И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия / Н. И. Горбунов. – М.: Наука, 1967. – 160 с.
5. Дюшофур, Ф. Основы почвоведения / Ф. Дюшофур // Эволюция почв. – М.: Прогресс, 1970. – 592 с.
6. Золотарева, Б. Н. Гидрофильные коллоиды и почвообразование / Б. Н. Золотарева. – М.: Наука, 1982. – 60 с.

7. Ковеня, С. В. Исследование роли механических сил и геометрических условий в перемещении высокодисперсных частиц в почвенных колонках / С. В. Ковеня, М. К. Мельникова, А. С. Фрид // Почвоведение. 1972. – № 10. – С. 133-140.
8. Мельникова, М. К. Влияние физико-химических свойств почвы на перемещение глинистых суспензий по профилю / М. К. Мельникова, С. В. Ковеня // Почвоведение. 1974. – № 11. – С. 45-50.
9. Frenkel, H. Effect of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity / H. Frenkel, J. Goertzen, J. D. Rhoades // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1978. – V. 42. – N. 1. – P. 32-39.
10. Frenkel, H. Effects of dispersion and swelling on soil hydraulic conductivity / H. Frenkel, J. D. Rhoades // Journal of Testing and Evaluation. 1978. – V. 6. – N. 1. – P. 60-65.
11. Norrish, K. The Swelling of montmorillonite / K. Norrish // Discuss. of the Faraday Soc. Coagulation and Flocculation. 1954. – N. 18. – P. 120-134.
12. Крыщенко, В. С. Изменение минеральной части предкавказских террасовых черноземов при орошении / В. С. Крыщенко, А. Я. Вигутова, Э. Ф. Рязанова // Почвоведение. 1983. – № 8. – С. 90-99.
13. Рыбина, В. В. Водно-физические свойства лиманных почв / В. В. Рыбина // Бюлл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 1974. – Вып. VII. – С. 104-121.
14. Рыбина, В. В. Физические свойства и водный режим почв орошаемых лиманов Заволжья / В. В. Рыбина // Физические условия почвенного плодородия. Науч. труды Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 1978.
15. Мирзаджанзаде, А. Х. Гидравлика глинистых и цементных растворов / А. Х. Мирзаджанзаде, А. А. Мирзоян, Г. М. Гевинян, М. К. Сеид-Рза. – М.: Недра, 1966.

References

1. Pron'ko, N. A. Vlijanie irrigacionnogo tehnogeneza na vodno-solevoj rezhim temno-kashtanovyh pochv i formirovanin rastitel'nyh soobshhestv v Saratovskom Zavolzh'e / N. A. Pron'ko, A. S. Fal'kovich, V. S. Burunova, E. N. Shevchenko. – Saratov: Izd-vo Saratovskogo GAU, 2006. – 120 s.
2. Gedrojc, K. K. Kolloidal'naja himija v voprosah pochvovedenija / K. K. Gedrojc // Izbrannye nauchnye trudy. – М.: Nauka, 1975. – S. 50-107.
3. Gorbunov, N. I. O peredvizhenii ilistyh i kolloidnyh chastic v pochvah / N. I. Gorbunov // Pochvovedenie. – 1961. – № 7. – S. 13-28.
4. Gorbunov, N. I. Pochvennye kolloidy i ih znachenie dlja plodorodija / N. I. Gorbunov. – М.: Nauka, 1967. – 160 s.
5. Djushofur, F. Osnovy pochvovedenija / F. Djushofur // Jevoljucija pochv. – М.: Progress, 1970. – 592 s.
6. Zolotareva, B. N. Gidrofil'nye kolloidy i pochvoobrazovanie / B. N. Zolotareva. – М.: Nauka, 1982. – 60 s.
7. Kovenja, S. V. Issledovanie roli mehanicheskikh sil i geometricheskikh uslovij v peremeshhenii vysokodispersnyh chastic v pochvennyh kolonkah / S. V. Kovenja, M. K. Mel'nikova, A. S. Frid // Pochvovedenie. 1972. – № 10. – S. 133-140.
8. Mel'nikova, M. K. Vlijanie fiziko-himicheskikh svojstv pochvy na peremeshhenie glinistyh suspenzij po profilju / M. K. Mel'nikova, S. V. Kovenja // Pochvovedenie. 1974. – № 11. – S. 45-50.

9. Frenkel, H. Effect of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity / H. Frenkel, J. Goertzen, J. D. Rhoades // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1978. – V. 42. – N. 1. – P. 32-39.
10. Frenkel, H. Effects of dispersion and swelling on soil hydraulic conductivity / H. Frenkel, J. D. Rhoades // *Journal of Testing and Evaluation.* 1978. – V. 6. – N. 1. – P. 60-65.
11. Norrish, K. The Swelling of montmorillonite / K. Norrish // *Discuss. of the Faraday Soc. Coagulation and Flocculation.* 1954. – N. 18. – P. 120-134.
12. Kryshhenko, V. S. Izmenenie mineral'noj chasti predkavkazskih terrasovyh chernozemov pri oroshenii / V. S. Kryshhenko, A. Ja. Vigutova, Je. F. Rjazanova // *Pochvovedenie.* 1983. – № 8. – S. 90-99.
13. Rybina, V. V. Vodno-fizicheskie svojstva limannyh pochv / V. V. Rybina // *Bjull. Pochv. in-ta im. V. V. Dokuchaeva.* – M., 1974. – Vyp. VII. – S. 104-121.
14. Rybina, V. V. Fizicheskie svojstva i vodnyj rezhim pochv oroshaemyh limanov Zavolzh'ja / V. V. Rybina // *Fizicheskie uslovija pochvennogo plodorodija. Nauch. trudy Pochv. in-ta im. V. V. Dokuchaeva.* – M., 1978.
15. Mirzadzhanzade, A. H. Gidravlika glinistyh i cementnyh rastvorov / A. H. Mirzadzhanzade, A. A. Mirzojan, G. M. Gevinjan, M. K. Seid-Rza. – M.: Nedra, 1966.