

17. Khoroshev E.V., Guseva V.V. Sozдание bazy dannykh dlya avtosalona [Creation of a database for a car dealership], *Nauchnye perspektivy-2023* [Scientific prospects-2023], 2023, pp. 48-49.
18. Shapovalov A.A., Suvorova A.V. Evolyutsiya biznes-protsessov v rossiyskom avtoriteyle [Evolution of business processes in Russian auto retail], *Ekonomika* [Economy], 2024, Vol. 14, No. 6, pp. 3117-3134.
19. Sharafieva N.Kh., Murzin S.Z. Informatsionnye sistemy i bazy dannykh: organizatsiya, khranenie i upravlenie informatsiy [Information systems and databases: organization, storage and management of information], *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i mirovogo soobshchestva v epokhu tsifrovizatsii* [Modern trends in the development of science and the world community in the era of digitalization], 2023, pp. 150-154.
20. Shatalova Yu.G., Zhiglov Ya.V. Razrabotka sistemy replikatsii dlya raspredelennoy bazy dannykh predpriyatiya [Development of a replication system for a distributed enterprise database], *Simvol nauki* [Symbol of Science], 2019, Vol. 2, No. 3, pp. 137-141.

Богнюков Александр Алексеевич – Волгоградский государственный технический университет; e-mail: bogniukovv@gmail.com; г. Волгоград, Россия; студент.

Зорькин Дмитрий Юрьевич – e-mail: mosh285@gmail.com; кафедра ПМ; преподаватель.

Шведов Евгений Геннадьевич – e-mail: esheg@rambler.ru; кафедра ПМ; к.ф.-м.н.; доцент.

Bognyukov Alexander Alekseevich – Volgograd State Technical University; e-mail: bogniukovv@gmail.com; Volgograd, Russia; student.

Zorkin Dmitry Yuryevich – e-mail: mosh285@gmail.com; the Department of Applied Mathematics; teacher.

Shvedov Evgeny Gennadievich – e-mail: esheg@rambler.ru; the Department of Applied Mathematics; cand. of phys. and math. sc.; associate professor.

УДК 004:681.518

DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-121-131

М.А. Георгиева, И.М. Першин

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ГИДРОЛИТОСФЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Данная статья посвящена исследованию влияния атмосферных осадков на гидролитосферные процессы с использованием математического моделирования. Гидролитосферные процессы включают взаимодействие между водой, атмосферой и земной корой, играя важную роль в формировании ландшафта, круговороте воды и климате Земли. Используя исторические данные об осадках и гидролитосферных процессах, авторы калибруют и проверяют свою модель. Результаты показывают, что модель может точно предсказывать изменения в стоке воды, эрозии почвы и качестве воды в ответ на изменения в режиме осадков. В работе представлена разработка и применение математических моделей для изучения влияния осадков на формирование стока, эрозию почвы, изменение уровня грунтовых вод, а также на геоморфологические процессы, происходящие в гидролитосфере. В статье анализируются различные типы моделей, включая: – модели поверхностного стока, которые описывают формирование и движение стока по поверхности земли; – модели эрозии почвы, которые предсказывают интенсивность эрозионных процессов, обусловленных воздействием атмосферных осадков; – модели грунтовых вод, которые изучают влияние осадков на уровень грунтовых вод и их движение в подземных горизонтах; – модели геоморфологических процессов, которые исследуют влияние осадков на формирование рельефа, образование оврагов, склонов и других геоморфологических элементов. Были рассмотрены и изучены проблемы валидации и калибровки моделей, а также факторы неопределенности, связанные с вариабельностью атмосферных осадков. Результаты исследования позволяют лучше понять взаимодействие атмосферных осадков с гидролитосферой и представить возможности использования математического моделирования для прогнозирования гидролитосферных процессов и разработки стратегий управления водными ресурсами. Статья имеет важное значение для понимания и управления гидролитосферными процессами в условиях изменяющегося климата. Математическая модель, разработанная в статье, может быть использована для оценки потенциальных последствий изменения количества и характера осадков, а также для разработки стратегий адаптации для смягчения этих последствий.

Гидролитосферные процессы; атмосферные осадки; математическое моделирование; грунтовые воды; эрозионные процессы.

M.A. Georgieva, I.M. Pershin

MATHEMATICAL MODELING OF THE INFLUENCE OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION ON HYDROLITHOSPHERIC PROCESSES

This article is devoted to the study of the influence of atmospheric precipitation on hydrolithospheric processes using mathematical modeling. Hydrolithospheric processes involve interactions between water, the atmosphere, and the Earth's crust, playing an important role in shaping the landscape, water cycle, and Earth's climate. Using historical data on precipitation and hydrolithospheric processes, the authors calibrate and validate their model. Results show that the model can accurately predict changes in water flow, soil erosion, and water quality in response to changes in the precipitation regime. This paper presents the development and application of mathematical models to study the effects of precipitation on runoff generation, soil erosion, water table changes, and geomorphologic processes occurring in the hydrolithosphere. The paper analyzes different types of models, including: – surface runoff models, which describe the formation and movement of runoff over the land surface; – soil erosion models, which predict the intensity of erosion processes caused by precipitation; – groundwater models, which study the effect of precipitation on the water table and its movement in groundwater aquifers; – models of geomorphologic processes, which study the influence of precipitation on the formation of relief, formation of ravines, slopes and other geomorphologic elements. Problems of model validation and calibration, as well as uncertainties associated with precipitation variability, were considered and studied. The results of the study provide a better understanding of the interaction of precipitation with the hydrolithosphere and present opportunities for using mathematical modeling to predict hydrolithospheric processes and develop water management strategies. The article has important implications for understanding and managing hydrolithospheric processes in a changing climate. The mathematical model developed in the article can be used to assess the potential impacts of changing precipitation amounts and patterns, and to develop adaptation strategies to mitigate these impacts.

Hydrolithospheric processes, precipitation, mathematical modeling, groundwater, erosion processes.

Введение. Атмосферные осадки играют ключевую роль в формировании и функционировании гидролитосферных процессов, то есть взаимодействия воды и горных пород, это:

- ♦ пополнение подземных вод, то есть дождевая вода просачивается в почву и пополняет водоносные горизонты;
- ♦ регулирование стока, когда осадки влияют на речной сток, вызывая паводки и наводнения в период интенсивных дождей;
- ♦ эрозия и денудация, когда дождевые воды вызывают эрозию почвы и горных пород, перенося материал в речные системы и моря;
- ♦ растворение и выветривание, когда дождевая вода может растворять горные породы, вызывая их выветривание и образование карстовых пещер и провалов;
- ♦ формирование грунтовых вод, т.е. осадки влияют на уровень грунтовых вод, повышая его в период дождей и снижая в период засухи.

Влияние осадков на гидролитосферные процессы зависит от:

- ♦ типа почвы и рельефа, так как проницаемость почвы и уклон рельефа влияют на скорость инфильтрации воды и ее сток;
- ♦ человеческой деятельности, такая как вырубка лесов, строительство гидротехнических сооружений и загрязнение водных ресурсов [4–6].

Интенсивные ливни могут вызывать резкое повышение уровня рек и наводнения, в то время как продолжительные дожди могут вызывать повышение уровня грунтовых вод и активизацию эрозионных процессов.

Как известно, интенсивность осадков (I) измеряется в мм/час, и подразделяется на следующие: слабый дождь (1–5) мм/час; умеренный дождь (5–20) мм/час; сильный дождь (20–40) мм/час; ливень (более 40) мм/час.

Методика моделирования эрозионно-руслowych процессов

1. Математические модели. Рассмотрим математические модели взаимодействия осадков и грунтовых вод:

1. Осадки выпадают на ровную плоскую поверхность (рис. 1).

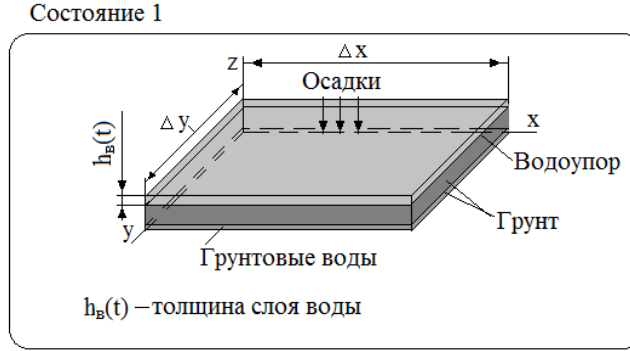


Рис. 1. Схема выпадения осадков

1.1. Полагая, что через боковые грани и поверхностный слой грунта не происходит отток воды, уровень слоя воды на поверхности грунта (h_b), за время τ , записывается в виде:

$$h_b = I \cdot \tau. \quad (1)$$

1.2. Если через поверхностный слой осуществляется перетекание воды в грунт (коэффициент перетекания b_n), то математическая модель процесса записывается в виде:

$$\begin{aligned} h_b(x, y, L_z, \tau) &= h_b(x, y, L_z, \tau) + b_n \cdot (h_1(x, y, 0, \tau) - h_b(x, y, L_z, \tau)) \cdot \partial \tau, \\ h_1(x, y, 0, \tau) &= h_1(x, y, 0, \tau) - b_n \cdot (h_1(x, y, 0, \tau) - h_b(x, y, L_z, \tau)) \cdot \partial \tau. \end{aligned} \quad (2)$$

В соответствии с [1–3], запишем уравнения, описывающие рассматриваемый гидролитический процесс, в безнапорном, однородном пласте (грунтовых водах):

$$\begin{aligned} \frac{\partial h_1(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} &= k_{1,x} \cdot \frac{\partial^2 h_1(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + k_{1,y} \cdot \frac{\partial^2 h_1(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + k_{1,z} \cdot \frac{\partial^2 h_1(x, y, z, \tau)}{\partial z^2}, \\ k_{1,x} &= \bar{K}_x \cdot h_{cp} / \mu, \quad k_{1,y} = \bar{K}_y \cdot h_{cp} / \mu, \quad k_{1,z} = \bar{K}_z \cdot h_{cp} / \mu, \\ 0 < x < L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < L_z. \end{aligned} \quad (3)$$

где x, y, z — пространственные координаты; τ — время; h_1 — напор в горизонте грунтовых вод; $k_{1,x}, k_{1,y}, k_{1,z}$ — коэффициенты уровнеспроводности по соответствующим координатам в $m^2/сут$; $\bar{K}_x, \bar{K}_y, \bar{K}_z$ — коэффициенты фильтрации по соответствующим координатам; h_{cp} — средний уровень грунтовых вод; μ — коэффициент грунтовой водоотдачи; L_x, L_y, L_z — заданные значения.

2. Дискретные модели. Дискретная модель, описывающая процесс в однородном безнапорном пласте, может быть представлена в виде [17–20]:

Верхняя граница грунтовых вод

$$\begin{aligned} h_{b,\eta,\gamma} &= h_{b,\eta,\gamma} + b_n \cdot (h_{1,\eta,\gamma,1} - h_{b,\eta,\gamma}) \cdot \Delta \tau, \\ h_{1,\eta,\gamma,1} &= h_{1,\eta,\gamma,1} - b_n \cdot (h_{1,\eta,\gamma,1} - h_{b,\eta,\gamma}) \cdot \Delta \tau, \\ 2 < \eta < N_x - 1; \quad 2 < \gamma < N_y - 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Грунтовые воды

$$\begin{aligned} \frac{\Delta h_{1,\eta,\gamma,\xi}}{\Delta \tau} = & k_{1,x} \frac{h_{1,\eta-1,\gamma,\xi} - 2 \cdot h_{1,\eta,\gamma,\xi} + h_{1,\eta+1,\gamma,\xi}}{(\Delta x)^2} + \\ & + k_{1,y} \frac{h_{1,\eta,\gamma-1,\xi} - 2 \cdot h_{1,\eta,\gamma,\xi} + h_{1,\eta,\gamma+1,\xi}}{(\Delta y)^2} + \\ & + k_{1,z} \frac{h_{1,\eta,\gamma,\xi-1} - 2 \cdot h_{1,\eta,\gamma,\xi} + h_{1,\eta,\gamma,\xi+1}}{(\Delta z_1)^2}; \end{aligned} \quad (5)$$

$$2 < \eta < N_x - 1; \quad 2 < \gamma < N_y - 1; \quad 2 < \xi < N_{z1} - 1$$

На нижней границе грунтовых вод полагаем, что перетекание отсутствует:

$$h_{1,\eta,\gamma,N_z} = h_{1,\eta,\gamma,N_z-1}, \quad 2 < \eta < N_x - 1; \quad 2 < \gamma < N_y - 1.$$

где b_{π} – коэффициент перетекания; h_1 – уровень грунтовых вод; h_b – уровень воды на поверхности.

3. Методика моделирования процессов при выпадении осадков. Осадки выпадают на наклонную плоскость (рис. 2)

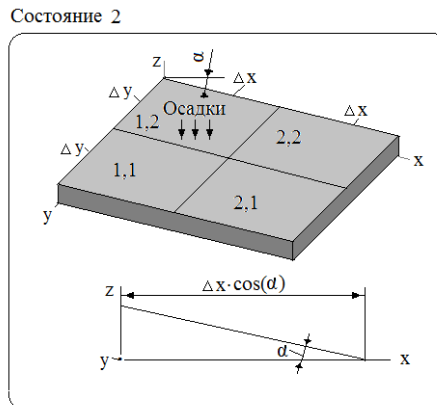


Рис. 2. Схема выпадения осадков на наклонную плоскость

Разделим наклонную плоскость на секции (см. рис.2). При наклоне поверхности водной поток, со скоростью $V(\alpha)$, перетекает в направлении оси x от одной плоскости к другой (например, поток с секции 1.1 перетекает на секцию 2.1 и т.д. Определим время, за которое вода с секции 1.1 полностью перетечет на секцию 2.1 τ

$$t_{\pi} = \Delta x / v(\alpha). \quad (6)$$

За время $\Delta \tau$ коэффициент перетекания составит:

$$k_p = (\Delta x / v(\alpha)) \cdot \Delta \tau, \quad (k_p \leq 1). \quad (7)$$

Коэффициент перетекания для η, γ секции, при изменении скорости потока $v_{\eta,\gamma}$, вызванной изменением угла наклона секции $\alpha = \alpha_{\eta,\gamma}$, записывается в виде:

$$\begin{aligned} k_{p,\eta,\gamma} = & (\Delta x / v_{\eta,\gamma}(\alpha_{\eta,\gamma})) \cdot \Delta \tau, \quad (k_{p,\eta,\gamma} \leq 1), \\ & 1 < \eta < N_x; \quad 1 < \gamma < N_y. \end{aligned}$$

Полагая в начальный момент $\tau=0$, запишем текущее время: $\tau=\tau+\Delta\tau$.

3.1. Уровень слоя воды, в квадрате $\Delta x \cdot \Delta y$, без учета перетекания, за время τ , определяется из следующего соотношения:

$$h_{b,\eta,\gamma} = I \cdot (\Delta x \cdot \cos(\alpha_{\eta,\gamma}) \cdot \Delta y) \cdot \tau / (\Delta x \cdot \Delta y) = I \cdot \cos(\alpha_{\eta,\gamma}) \cdot \tau, \quad (8)$$

$$1 < \eta < N_x; 1 < \gamma < N_y$$

Перетекание уровня слоя воды за время $\Delta\tau$ составит:

$$h_{вр,\eta,\gamma} = I \cdot \cos(\alpha_{\eta,\gamma}) \cdot \Delta\tau \cdot k_{p,\eta,\gamma} \quad (9)$$

$$1 < \eta < N_x; 1 < \gamma < N_y$$

3.2. Уровень слоя воды в секциях, с учетом перетекания за время $\Delta\tau$, определяется из соотношений:

$$h_{b,\eta,\gamma} = I \cdot \cos(\alpha_{\eta,\gamma}) \cdot \Delta\tau - h_{вр,\eta,\gamma}, \quad (10)$$

$$1 < \eta < N_x; 1 < \gamma < N_y.$$

3.3. Рассмотрим случай, когда перетекание осуществляется из верхних секций в секции, которые расположены «ниже». Определим уровень слоя воды в «нижних» секциях $h_{вн,\eta,\gamma}$:

$$h_{вн,\eta,\gamma} = h_{вр,\eta,\gamma} + h_{вр,\eta-1,\gamma}, \quad (11)$$

$$2 < \eta < N_x; 1 < \gamma < N_y.$$

3.4. Если через поверхностный слой осуществляется перетекание воды в грунт, то к математической модели, рассмотренной выше, следует добавить уравнения (1)–(4), описывающие процесс в грунтовых водах.

Моделирование гидролитосферных процессов. Рассмотрим пример моделирования эрозионных процессов. Схема рассматриваемого объекта приведена на рис. 3.

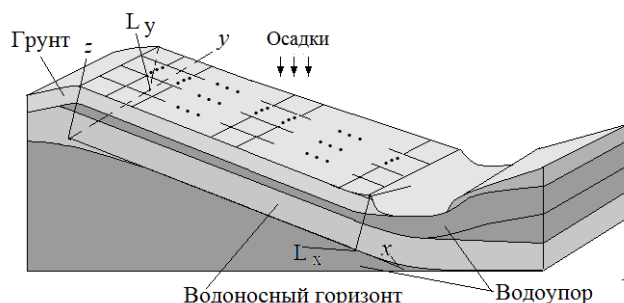


Рис. 3. Схема моделирования эрозионных процессов

Геометрические параметры моделируемой области приведены в табл. 1 (значения параметров заданы в системе СИ)

Таблица 1

Значения геометрических параметров объекта

	Обозначения	Размер, м.
Длина моделируемой области	L_x	100
Ширина моделируемой области	L_y	100
Толщина грунта	L_z	0.5
Высота грунтовых вод		0.0 м.

Интенсивность осадков $I=0.05/3600$ м./сек.

Численные значения физических параметров, при моделировании рассмотренных выше процессов приведены в табл.2.

где k_x, k_y, k_z – коэффициенты фильтрации по соответствующим координатам;

b_n – коэффициент перетекания (значения параметров приведены в системе «СИ»).

Число точек дискретизации по пространственным координатам x, y, z : $N_x=70$; $N_y=50$; $N_z=9$;

Шаги дискретизации по пространственным координатам соответственно равны:

$$dx:=L_x/(N_x-1); dy:=L_y/(N_y-1); dz:=L_z/(N_z-1).$$

Значения физических параметров объекта приведены в табл. 2

Таблица 2

Значения физических параметров грунтовых вод

Грунтовые воды
$k_{x1}=3.92/86400$; $k_{y1}=3.92/86400$; $k_{z1}=2.52/86400$; $b_n=0.006$;

1. Используя приведенные выше математические модели, была составлена программа вычисления изменения уровня, при выпадении осадков (интенсивности $I=0.05/3600$) на ровную плоскую поверхность. При моделировании полагали, что через боковые грани и поверхностный слой грунта не происходит отток воды. На рис. 4 показаны графики изменения уровня в двух выбранных точках [4].

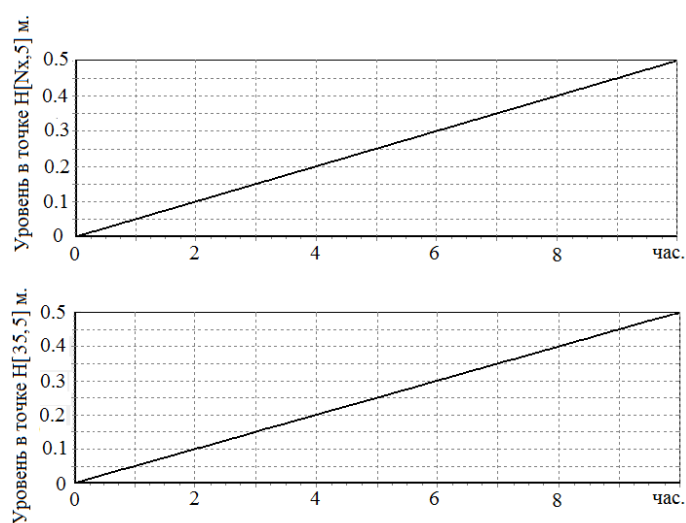


Рис. 4. Графики изменения уровня в выбранных точках

2. Используя приведенные выше математические модели, была составлена программа вычисления изменения уровня, при выпадении осадков (интенсивности I) на наклонную поверхность. При моделировании полагали, что через боковые грани и поверхностный слой грунта не происходит отток воды. Скорость течения потока воды принималась равной: $V_{n,\gamma}(\alpha)=0.005$ м./с. В рассматриваемом случае будем полагать, что угол наклона $\alpha_{n,\gamma}=15^\circ$. На рис. 5 показаны графики изменения уровня в двух выбранных точках.

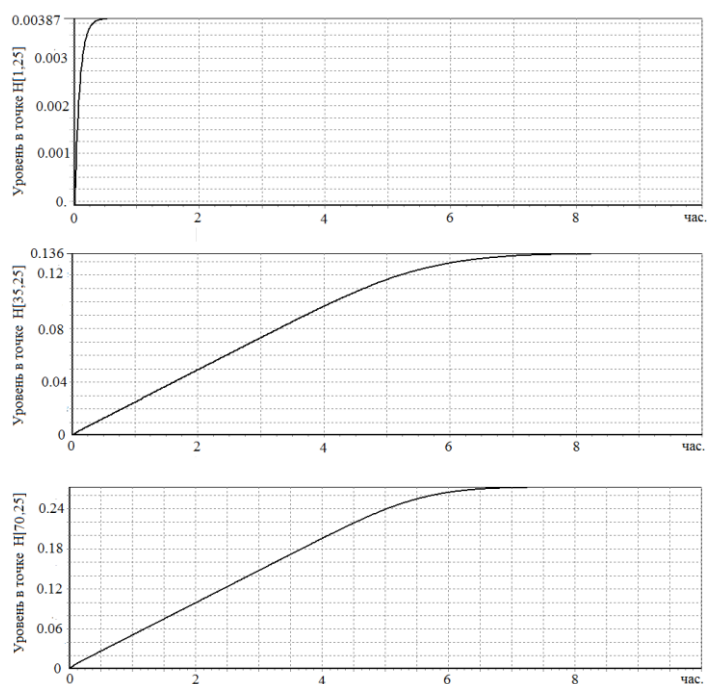


Рис. 5. Графики изменения уровня в выбранных точках, при наличии скорости течения водного потока

3. По результатам моделирования гидролитосферных процессов, с учетом скорости течения. потока воды $V_{\eta,\gamma}(\alpha)=0.005$ м./с. и перетекания воды в грунт, построены графики, приведенные на рис. 6.

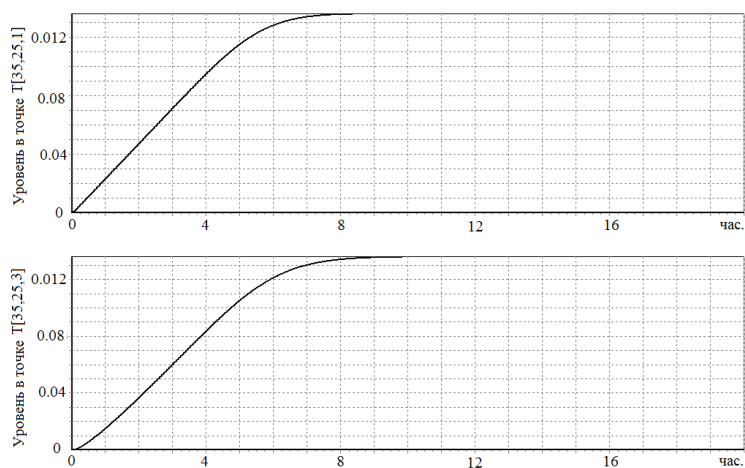


Рис. 6. Графики изменения уровня грунтовых вод, при наличии скорости течения водного потока

Заключение. Атмосферные осадки являются ключевым фактором, определяющим динамику гидролитосферных процессов, то есть взаимодействия воды и горных пород. Изменения климата и увеличение частоты и интенсивности осадков в некоторых регионах могут привести к усилению эрозии и повышению риска наводнений.

Изучение гидrolитосферных процессов, то есть взаимодействия воды и горных пород, требует использования математического моделирования, чтобы понять сложные взаимосвязи и предсказать их будущее развитие.

Математическое моделирование позволяет учитывать множество факторов, влияющих на гидrolитосферные процессы, включая интенсивность и продолжительность осадков, тип почвы, рельеф и антропогенное влияние.

Модели позволяют прогнозировать изменения в уровне грунтовых вод, речном стоке, скорости эрозии и других параметрах гидrolитосферных систем.

Результаты моделирования могут быть использованы для разработки эффективных стратегий управления водными ресурсами, предотвращения эрозии и снижения рисков, связанных с наводнениями и засухами.

В целом, математическое моделирование является необходимым инструментом для понимания и управления гидrolитосферными процессами. Дальнейшее развитие моделирования будет способствовать эффективному управлению водными ресурсами и защите окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малков А.В., Першин М.И., Помеляйко И.С. и др. Кисловодское месторождение углекислых минеральных вод. Системный анализ, диагностика, прогноз и управление. – М.: Наука, 2015. – 283 с.
2. Георгиева М.А. Системный анализ эрозийно-русловых процессов // Современная наука и инновации. – 2024. – № 4. – С. 32-40.
3. Ivan M. Pershin, Elena G. Papush, Tatyana V. Kukharova,* and Vladimir A. Utkin. Modeling of Distributed Control System for Network of Mineral Water Wells. Water 2023 (Switzerland), 15, 2289. – <https://doi.org/10.3390/w15122289>. – 14 с.
4. Першин И.М., Веселов Г.Е., Першин М.И. Синтез распределенных систем управления гидrolитосферными процессами месторождений минеральных вод // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 8 (157). – С. 123-137.
5. Георгиева М.А. Разработка алгоритма управления эрозийными процессами в русловой подсистеме горных и предгорных ландшафтов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 1-2. – С. 23-26.
6. Pershin I.M., Kukharova T.V., Tsapleva V.V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials // Journal of Physics: Conference Series. Открытый доступ. Т. 1728. Вып. 119. January 2021. Номер статьи 0120172020. Annual International Conference on Complex Equipment and Quality Control Laboratories, CEQCL 2020, 14 April 2020 - 17 April 2020. – ISSN 17426588. – DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012017.
7. Дровосекова Т.И., Жерносек И.А. Моделирование гидrolитосферных процессов региона кавказских минеральных вод // В мире научных открытий. – 2013. – №. 2. – С. 164-176.
8. Витиска Н.И., Георгиева М.А. Применение компьютерного моделирования в вопросах изучения эрозии почв и русел рек // Информационные технологии в экологии, образовании и бизнесе: Матер. конференции, Нальчик, 01 января – 31 2021 года. – Нальчик, 2021. – С. 192-197.
9. Хаширова Т.Ю., Ламердонов К.З., Токмакова Д.А. [и др.]. Информационные технологии в решении некоторых экологических проблем на горных и предгорных ландшафтах // Современные проблемы прикладной математики, информатики и механики: Сб. трудов Международной научной конференции, Нальчик, 10–14 июня 2019 года. Т. II. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, 2019. – С. 152-159.
10. Khashirova T.Y., Georgieva M.A., Eleev I.Z. [et al.]. Information Technologies in the Solution of Some Environmental Problems on Mountain and Foothill Landscapes // Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019, Sochi, 23–27 сентября 2019 года. – Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 507-510.
11. Хаширова Т.Ю., Гергов А.Р., Георгиева М.А., Акбашева Г.А. Использование современных компьютерных технологий в задачах расчета экологической стабильности горных и предгорных ландшафтов // Инновационные технологии в природообустройстве и водопользовании: Сб. научных статей. Вып. 7. – Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых (ООО«Полиграфсервис и Т»), 2017. – С. 204-210.

12. Хаширова Т.Ю., Гергов А.Р., Георгиева М.А., Акбаева Г.А. Применение информационных технологий при оценке экологической стабильности горных и предгорных ландшафтов // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 7. – С. 83-87.
13. Зербалиев А.М., Георгиева М.А. Анализ механизма оползневых и эрозионных процессов на склонах горных ландшафтов // Природообустройство и мелиорация водосборов горных и предгорных ландшафтов: Сб. научных статей. Вып. 6. – Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых, 2016. – С. 91-97.
14. Георгиева М.А., Арванова М.М., Газаев А.Х. Анализ моделей оползневой опасности долин горных рек республики Кабардино-Балкария // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5. – С. 125-129.
15. Першин И.М., Малков А.В., Першин М.И. Математические модели гидrolитосферных процессов // Недропользование XXI век. – 2018. – № 3. – С. 56-65.
16. Першин И.М., Кузьмин Н.Н., Малков А.В. Формирование целевых функций в задачах управления гидrolитосферными процессами // 5-я Российская мультиконференция по проблемам управления: Матер. конференции "Информационные технологии в управлении" (ИТУ-2012), Санкт-Петербург, 09–11 октября 2012 года. – СПб.: ЦНИИ "Электроприбор", 2012. – С. 622-632.
17. Быстров С.В., Григорьев В.В. Математическая модель гидrolитосферных процессов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2017. – Т. 60, № 9. – С. 863-868.
18. Дровосекова Т.И. Разработка математических моделей и синтез системы управления гидrolитосферными процессами Пятигорского месторождения минеральных вод. – СПб.: Петерб. гос. электротехн. ун-т (ЛЭТИ), 2015.
19. Цаплева В.В. Системный анализ гидrolитосферных процессов региона г. Лермонтова: дис. – ЮФУ, 2012.
20. Дровосекова Т.И., Першин И.М. Особенности моделирования гидrolитосферных процессов региона Кавказских Минеральных Вод // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет ЛЭТИ им. В.И. Ульянова (Ленина), 2016. – Т. 1. – С. 229-232.

REFERENCES

1. Malkov A.V., Pershin M.I., Pomelyayko I.S. i dr. Kislovodskoe mestorozhdenie uglekislykh mineral'nykh vod. Sistemnyy analiz, diagnostika, prognoz i upravlenie [Kislovodsk deposit of carbonated mineral waters. Systems analysis, diagnostics, forecast and management]. Moscow: Nauka, 2015, 283 p.
2. Georgieva M.A. Sistemnyy analiz erozionno-ruslovykh protsessov [Systems analysis of erosion-channel processes], *Sovremennaya nauka i innovatsii* [Modern science and innovation], 2024, No. 4, pp. 32-40.
3. Ivan M. Pershin , Elena G. Papush, Tatyana V. Kukharova,* and Vladimir A. Utkin. Modeling of Distributed Control System for Network of Mineral WaterWells. Water 2023 (Switzerland), 15, 2289. Available at: <https://doi.org/10.3390/w15122289>, 14 p.
4. Pershin I.M., Veselov G.E., Pershin M.I. Sintez raspredelennykh sistem upravleniya gidrolitosfernymi protsessami mestorozhdeniy mineral'nykh vod // Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki. – 2014. – № 8 (157). – S. 123-137.
5. Georgieva M.A. Razrabotka algoritma upravleniya erozionnymi protsessami v ruslovy podsysteme gornykh i predgornykh landshaftov [Synthesis of distributed control systems for hydrolithospheric processes of mineral water deposits], *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2022, No. 1-2, pp. 23-26.
6. Pershin I.M., Kukharova T.V., Tsapleva V.V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials, *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1728, Issue 119. January 2021. Article number 0120172020. Annual International Conference on Complex Equipment and Quality Control Laboratories, CEQCL 2020, 14 April 2020 - 17 April 2020. ISSN 17426588. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012017.
7. Drovosekova T.I., Zhernosek I.A. Modelirovanie gidrolitosfernykh protsessov regiona kavkazskikh mineral'nykh vod [Modeling of hydrolithospheric processes in the region of Caucasian mineral waters], *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the world of scientific discoveries], 2013, No. 2, pp. 164-176.

8. Vitiska N.I., Georgieva M.A. Primenenie komp'yuternogo modelirovaniya v voprosakh izucheniya erozii pochv i rusel rek [Application of computer modeling in the study of soil and river bed erosion], *Informatsionnye tekhnologii v ekologii, obrazovanii i biznese: Mater. Konferentsii* [Information technologies in ecology, education and business: Proceedings of the conference], Nal'chik, 01 January – 31 2021. Nal'chik, 2021, pp. 192-197.
9. Khashirova T.Yu., Lamerdonov K.Z., Tokmakova D.A. [i dr.]. Informatsionnye tekhnologii v reshenii nekotorykh ekologicheskikh problem na gornykh i predgornykh landshaftakh [Information technologies in solving some environmental problems in mountain and foothill landscapes], *Sovremennye problemy prikladnoy matematiki, informatiki i mekhaniki: Sb. trudov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Nal'chik, 10–14 iyunya 2019 goda* [Modern problems of applied mathematics, informatics and mechanics: Collection of works of the International scientific conference, Nalchik, June 10-14, 2019]. Vol. II. Nal'chik: Kabardino-Balkarskiy gosudarstvennyy universitet im. Kh.M. Berbekova, 2019, pp. 152-159.
10. Khashirova T.Y., Georgieva M.A., Eleev I.Z. [et al.]. Information Technologies in the Solution of Some Environmental Problems on Mountain and Foothill Landscapes, *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies IT and QM and IS 2019, Sochi, 23–27 September 2019*. Sochi: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019, pp. 507-510.
11. Khashirova T.Yu., Gergov A.R., Georgieva M.A., Akbasheva G.A. Ispol'zovanie sovremennykh komp'yuternykh tekhnologiy v zadachakh rascheta ekologicheskoy stabil'nosti gornykh i predgornykh landshaftov [Use of modern computer technologies in the problems of calculating the environmental stability of mountain and foothill landscapes], *Innovatsionnye tekhnologii v prirodoobustroytve i vodopol'zovanii: Sb. nauchnykh statey* [Innovative technologies in nature management and water use: Collection of scientific articles], Issue 7. Nal'chik: Izd-vo M. i V. Kotlyarovykh (OOO«Poligrafservis i T»), 2017, pp. 204-210.
12. Khashirova T.Yu., Gergov A.R., Georgieva M.A., Akbasheva G.A. Primenenie informatsionnykh tekhnologiy pri otsenke ekologicheskoy stabil'nosti gornykh i predgornykh landshaftov [Application of information technologies in assessing the environmental stability of mountain and foothill landscapes], *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2017, No. 7, pp. 83-87.
13. Zerbaliyev A.M., Georgieva M.A. Analiz mekhanizma opolznevoy erozionnogo protsessov na sklonakh gornykh landshaftov [Analysis of the mechanism of landslide and erosion processes on the slopes of mountain landscapes], *Prirodoobustroytvo i melioratsiya vodosborov gornykh i pred-gornykh landshaftov: Sb. nauchnykh statey* [Nature management and melioration of watersheds of mountain and foothill landscapes: Collection of scientific articles], Issue 6. Nal'chik: Izd-vo M. i V. Kotlyarovykh, 2016, pp. 91-97.
14. Georgieva M.A., Arvanova M.M., Gazaev A.Kh. Analiz modeley opolznevoy opasnosti dolin gornykh rek respubliki Kabardino-Balkariya [Analysis of landslide hazard models of mountain river valleys in the Kabardino-Balkaria Republic], *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern natural science], 2016, No. 5, pp. 125-129.
15. Pershin I.M., Malkov A.V., Pershin M.I. Matematicheskie modeli gidrolitosfernykh protsessov [Mathematical models of hydrolithospheric processes], *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil use XXI century], 2018, No. 3, pp. 56-65.
16. Pershin I.M., Kuz'min N.N., Malkov A.V. Formirovanie tselevykh funktsiy v zadachakh upravleniya gidrolitosfernymi protsessami [Formation of target functions in problems of hydrolithospheric processes control], *5-ya Rossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya: Mater. konferentsii "Informatsionnye tekhnologii v upravlenii" (ITU-2012), Sankt-Peterburg, 09–11 oktyabrya 2012 goda* [5th Russian multi-conference on management problems: Proceedings of the conference "Information technologies in management" (ITU-2012), St. Petersburg, October 9-11, 2012]. Saint Petersburg: TSNII "Elektropribor", 2012, pp. 622-632.
17. Bystrov S.V., Grigor'ev V.V. Matematicheskaya model' gidrolitosfernykh protsessov [Mathematical model of hydrolithospheric processes], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Bulletin of higher educational institutions. Instrument engineering], 2017, Vol. 60, No. 9, pp. 863-868.
18. Drovosekova T.I. Razrabotka matematicheskikh modeley i sintez sistemy upravleniya gidrolitosfernymi protsessami Pyatigorskogo mestorozhdeniya mineral'nykh vod [Development of mathematical models and synthesis of a control system for hydrolithospheric processes of the Pyatigorsk mineral water deposit]. Saint Petersburg: Peterb. gos. elektrotekhn. un-t (LETI), 2015.

19. Tsapleva V.V. Sistemnyy analiz gidrolitosfernykh protsessov regiona g. Lermontova: dis. [Systems analysis of hydrolithospheric processes in the region of the city of Lermontov: diss]. YuFU, 2012.
20. Drovosekova T.I., Pershin I.M. Osobennosti modelirovaniya gidrolitosfernykh protsessov regiona Kavkazskikh Mineral'nykh Vod [Features of modeling hydrolithospheric processes in the region of the Caucasian Mineral Waters], Mezhdunarodnaya konferentsiya po myagkim vychisleniyam i izmereniyam [International Conference on Soft Computing and Measurements]. Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy elektrotekhnicheskiy universitet LETI im. V.I. Ul'yanova (Lenina), 2016, Vol. 1, pp. 229-232.

Георгиева Марьяна Альбековна – Южный федеральный университет; e-mail: maryana.g@list.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79674177490; аспирант.

Першин Иван Митрофанович – e-mail: ivmp@yandex.ru; тел.: +79288251910; д.т.н.; профессор.

Georgieva Maryana Albekovna – Southern Federal University; e-mail: maryana.g@list.ru; Taganrog, Russia; phone: +79674177490; graduate student.

Pershin Ivan Mitrofanovich – e-mail: ivmp@yandex.ru; phone: +79288251910; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.942+519.171

DOI 10.18522/2311-3103-2024-6-131-142

Е.Р. Зяблова

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФОВЫХ ПОДХОДОВ

Предложен подход к моделированию социальных взаимодействий в организационных системах, который состоит из несколько этапов: получение данных о пользователях системы, например при помощи парсинга сети; формирование ГН-модели системы на основе нечетких графов с разнотипными вершинами и множественными разнотипными связями; вычисление графовых характеристик с учетом определенного типа связи; использование значений графовых характеристик для анализа системы с учетом заложенной смысловой нагрузки. Обоснована целесообразность использования ГН-графа для исследования социальных отношений в организационных системах, так как он обладает рядом преимуществ. ГН-граф позволяет задать все необходимые разнотипные отношения и при этом уменьшить время анализа системы в 1,9 раз за счет использования множественных связей в виде вектора, позволяющих объединить несколько разнотипных связей. Модификация модели заключается в использовании разнотипных вершин. Тип вершин в графе определяется через вычисление их характеристик. В работе показан процесс формирования графовой модели подсистемы и вычисления ее характеристик. Показаны результаты вычисления степеней вершин, их центральности по степеням. Для вычисления метрических характеристик графовой модели использован модифицированный алгоритм поиска кратчайших путей в ГН-графе, разработанный ранее. Особенностью данного алгоритма является возможность использовать фильтры по типу вершин и связей. Получены численные показатели радиуса и диаметра графа, определены группы центральных и периферийных вершин, вычислены центральности вершин по близости с учетом выбранных типов связей для исследования разнотипных отношений в системе. Анализ подсистемы выполнен на примере решения двух практических задач. Среди пользователей сети выявлены группы сотрудников предприятия, определены их возможные статусы и коммуникативные активности. Под статусом пользователя понимается принадлежность к группам руководителей разного уровня, группе рядовых сотрудников предприятия. Предложено решение задачи выявления пользователей (групп пользователей), наиболее подходящих для распространения (или, наоборот, нераспространения) информации в сети.

ГН-граф; разнотипные вершины; множественные разнотипные связи; метрики графа; центральность вершины; организационная система; сеть.