

УДК 502.17+550.43
УКПІ
№ держреєстрації 0121U111558
Інв. №

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
(ЛДУ БЖД)
79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35;
тел. (032) 233-24-79; факс 233-00-88;
e-mail: kyryliv@ldubgd.edu.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Львівського державного
університету безпеки життєдіяльності
доктор педагогічних наук, професор
_____ Мирослав КОВАЛЬ
«__» _____ 2022 р.

**ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЮВАЧІВ НА
ТЕРИТОРІЯХ ВПЛИВУ НАФТОПРОВОДІВ
(остаточний)**

Керівник НДР начальник
навчально-наукового інституту
психології та соціального захисту,
д-р техн. наук, доцент

Василь КАРАБИН

2022

Рукопис закінчено 30 вересня 2022 р.

Результати роботи розглянуто Вченою радою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, протокол від 26 жовтня 2022 р. № 3

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР:

Начальник навчально-наукового інституту психології та соціального захисту, д-р техн. наук, доц.

професор кафедри екологічної безпеки, д-р с-г. наук, проф.

ад'юнкту кафедри екологічної безпеки

Василь КАРАБИН

(реферат, розд.2-4, висновки, загальна редакція звіту, польові дослідження)

Андрій КУЗИК

(реферат, розд.4, висновки, загальна редакція звіту)

Владислав ШУРИГІН

(реферат, розд. 1-4, висновки, польові дослідження)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 63 с., 2 табл., 18 рис., 76 джерел.

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЮВАЧІВ НА ТЕРИТОРІЯХ ВПЛИВУ НАФТОПРОВОДІВ.

Об'єкт досліджень – екологічна безпека транспортування нафти на нафтопродуктів трубопроводами у Передкарпатті.

Мета роботи - підвищення стану екологічної безпеки на територіях впливу об'єктів нафтопроводів шляхом розробки моделей поширення забруднювачів з можливістю прогнозування параметрів їх міграції.

Методи дослідження - польові роботи лабораторні та теоретичні дослідження, На етапі польових робіт визначено еколого-геологічні маршрути з відбором проб порід, ґрунтів, вод. Лабораторні дослідження – ваговий (гравіметричний) метод визначення концентрації вуглеводнів внаслідок їх раптового одноразового скиду та неперервного надходження. Теоретичні дослідження планується проводити із застосуванням статистичних методів обробки даних, математичного та фізичного моделювання.

Проведено аналіз наявної фондової інформації та опублікованих першоджерел з проблеми дослідження. Систематизовано інформацію.

Розроблена математична модель масоперенесення забруднювачів вуглеводневого складу.

Здійснено відбір проб ґрунтів, донних відкладів. Проведено підготовку відібраних проб для лабораторних досліджень. Проведено комплексні лабораторні дослідження.

Обґрунтовано методологічні підходи до прогнозування параметрів міграції забруднюючих речовин.

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Мережа нафтопроводів України та її вплив на екологічну безпеку держави	8
Розділ 2. Гідрохімічна характеристика та техногенне навантаження на окремі річкові системи Передкарпаття	22
Розділ 3. Моделювання як інструмент стратегічної екологічної оцінки та прогнозування	25
Розділ 4. Математичні моделі поширення забруднювачів вуглеводневого складу у річках Передкарпаття	35
4.1. Аналіз математичних моделей поширення забруднювача у водних об'єктах	35
4.2. Математичні моделі поширення вуглеводнів у річках Передкарпаття внаслідок їх раптового одноразового скиду	39
4.3. Математичні моделі поширення вуглеводнів у річках Передкарпаття внаслідок їх неперервного надходження	49
Висновки	54
Список використаних джерел	55

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АЗС – Автозаправна станція

ДКЗ – Державна комісія України по запасах корисних копалин

ЄС – Європейський Союз

МАІ – Метод аналізу ієрархій

НАК – Національна акціонерна компанія

НПС – Навколишнє природне середовище

НС – Надзвичайна ситуація

ОВД – Оцінка впливу на довкілля

ООН – Організація об'єднаних націй

ПАТ – Приватне акціонерне товариство

СЕО – Стратегічна екологічна оцінка

СЕКЦА – Країни Східної Європи, Кавказу і Центральної Азії

ТЕЦ – Теплоелектроцентрально

ЦСР – Цілі сталого розвитку

ЮНЕП – Програма ООН з довкілля

ВИСНОВКИ

1. На всіх етапах нафтовидобування, нафтопереробки та транспортування нафти, нафтопродуктів відбуваються їх втрати. На стан навколишнього середовища найбільше впливають етапи, що включають розвідку, видобуток нафти та її транспортування, ніж етапи переробки, зберігання та реалізації нафти та нафтопродуктів. Найбільш небезпечні загрози для довкілля пов'язані з аварійними виливами нафти, котрі виникають при експлуатації нафтопроводів та супроводжуються попаданням розливої нафти у водні об'єкти.

2. Ефективним інструментом підвищення екологічної безпеки у різних сферах, зокрема і у сфері надрокористування є стратегічна екологічна оцінка. Запропонована авторами класифікація інструментів стратегічної екологічної оцінки у надрокористуванні містить 33 елементи об'єднаних у 5 груп: аналітичні, організаційні, науково-технічні, контрольні-процесуальні, медійні.

3. Аналіз проєктів законодавчих актів у сфері надрокористування свідчить про певні позитивні зрушення в аспекті досягнення цілей сталого розвитку. Водночас залишається низка невирішених питань стосовно встановлення кондицій на мінеральну сировину. Не врегульовано питання стратегічної екологічної оцінки під час розробки проєктів землеустрою у частині рекультивациі земель, порушених внаслідок дослідно-промислової розробки родовищ, а також питання відведення земельних ділянок для потреб надрокористування.

4. Розроблено математичну модель зміни концентрації забруднювача вуглеводневого складу у річці внаслідок його одноразового скиду та неперервного надходження у системі «вода – донні відклади», котрі описуються системою двох диференціальних рівнянь. Отримано чисельні розв'язки математичної моделі, які представлені у вигляді графіків залежностей концентрації бензолу від часу. Такі залежності отримано для двох ділянок ріки: середньої та пригирлової. Обґрунтовано закономірності зміни концентрації забруднювача у залежності від складу донних відкладів ріки та її течії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European Environment Agency's home page. *European Environment Agency*. URL: <https://www.eea.europa.eu/> (дата звернення: 30.09.2022).
2. Карабин В. В. Теоретично-методичні аспекти регіональної оцінки стану геологічного середовища в районах розвідки та видобутку вуглеводнів. *Мінеральні ресурси України*. 2000. № 2. С. 11–13.
3. Карабин В. В. Закономірності зміни макрокомпонентного хімічного складу вод ріки Білого Черемошу. *Збірник наукових праць УкрДГРІ*. 2015. № 1. С. 114–121.
4. Starodub, G., Karabyn, V., Ursulyak, P., & Pyroszok, S. (2013). Assessment of anthropogenic changes natural hydrochemical pool Western Bug River. *Studia regionalne i lokalne Polski Poludniowo-Wschodniej*, 11, 79–90.
5. Басов М.В., Л.В. Сиса. Комплексна оцінка якості малих річок на прикладі лівих приток річки Рось. *Вісник ЛДУ ББЖД*. 2015. № 12. С. 100–105.
6. Угляр Ю.М., Борщишин І.Д., Хром'як У.В. Електрофлокоагуляційне очищення стічних вод підприємства ТОВ Коломийський м'ясокомбінат. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 2 (10). С. 30-34.
7. Хром'як У.В., Борщишин І.Д. Перероблення червоних шламів на Миколаївському глиноземному заводі. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. № 23.11. С. 165-170.
8. Хром'як У.В., Тарнавський А.Б. Вплив ЛКП «Збиранка» на навколишнє середовище та основні принципи створення нового полігону. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2016. № 26.5. С. 227-232.
9. Зеркалов Д. Транспортно – експедиторська діяльність : Монографія. Київ : Основа, 2012. 1006 с.
10. Вовк О. О., Зайченко С. В., Чвертко Є. П. Аналіз аварій на магістральних трубопроводах за період 2005 – 2015 рр. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. № 4. С. 113-118. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2017.127554>
11. Ждек А. Оцінка втрат нафти від витоків при транспортуванні і розробка заходів їх скорочення : Дис. канд. техн. наук. Івано-Франківськ, 2017.

12. Скрипник І. Моделирование и диагностика управляющих систем. Київ : Наук. думка, 1991. 134 с.
13. Екологічна безпека трубопровідного транспорту. *Pidru4niki*. URL: https://pidru4niki.com/92978/ekologiya/ekologichna_bezpeka_truboprovidnog_o_transportu (дата звернення: 30.09.2022).
14. Чумаченко С.М., Кармазин С.В., Фурсенко О.М. Експертна оцінка загроз для об'єктів критичної інфраструктури газотранспортної системи України з використанням методу аналізу ієрархій. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2015. № 9. С. 69-78.
15. Місяць війни. Злочини проти довкілля. *Екодія*. URL: <https://ecoaction.org.ua/zlochyny-proty-dovkillia.html> (дата звернення: 30.09.2022).
16. Мовчазні жертви: воєнні злочини проти довкілля - Юридична Газета. *Юридична газета – онлайн версія*. URL: <https://yur-gazeta.com/dumka-eksperta/movchazni-zhertvi-voenni-zlochiny-proti-dovkillya.html> (дата звернення: 30.09.2022).
17. Випадки потенційної шкоди довкіллю, спричинені російською агресією [Інтерактивна мапа]. *Екодія*. URL: <https://ecoaction.org.ua/warmap.html> (дата звернення: 30.09.2022).
18. Гринюк В. І. Моделювання процесу поширення нафтопродуктів у воді правої притоки р. Свічі. *Науково-технічний журнал*. 2020. № 1 (21). С. 41-48. DOI: 10.31471/2415-3184-2020-1(21)-41-48
19. Карабин В., Колодій В., Яронтовський О., Козак Ю., Карабин О. Щодо динаміки забруднення ґрунтових вод Передкарпаття у зоні техногенезу родовищ нафти. *Праці наукового товариства імені Шевченка*. 2007. Т. XIX : Геологічний збірник. С. 182-190.
20. Сиса Л. В., Карабин В. В., Карп'як О. Р. Просторовий розподіл нафтопродуктів у ґрунтах у зоні впливу залізничного транспорту (на прикладі ділянки Львів-Мостиська). *Мінеральні ресурси України*. 2017. №1. С. 48-51.

21. Oil spill near Eilat is 'one of the worst environmental accidents in Israel's history'. *The Jerusalem Post*. URL: <https://www.jpost.com/israel-news/oil-spill-near-eilat-is-one-of-worst-environmental-accidents-in-israels-history-official-says-383615> (дата звернення: 30.09.2022).
22. Витік дизельного палива в Норильську. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Витік_дизельного_палива_в_Норильську (дата звернення: 30.09.2022).
23. На території Кардашівської сільської ради Охтирського району знову порив нафтопроводу. *Державна екологічна інспекція у Сумській області*. URL: <http://deisumy.gov.ua/?p=1709> (дата звернення: 30.09.2022).
24. Русин І.Б., Мороз О.М., Карабин В.В., Кулачковський О.Р., Гудзь С.П. Біодеградація вуглеводнів нафти дріжджами роду *Candida*. *Мікробіологічний журнал*. 2003. № 6. Т. 65. С. 36-42.
25. Мальований М., Петрушка І. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами : Монографія. Львів : Львів. політехніка, 2012. 180 с.
26. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mepr.gov.ua/timeline/Zviti.html> (дата звернення: 30.09.2022).
27. Андрусевич А., Андрусевич Н., Козак З. Довідник чинних міжнародних договорів України у сфері охорони довкілля. Львів. 2009. 203 с.
28. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони : Угода від 27.06.2014 р. : станом на 30 листоп. 2015 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text (дата звернення: 17.10.2022).
29. Transition Book 2019 «Європейська та євроатлантична інтеграція. *Кабінет Міністрів України*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-presentation-2019/8.2019/transition-book-final-stisnuto.pdf> (дата звернення: 30.09.2022).

30. Карабин В. В, Сиса Л. В., Рак Ю. М. Установка для моделювання процесу забруднення протічної води : пат. 123043 Україна : 51. № у 201707530 ; заявл. 17.07.2017 ; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.
31. Карабин В. В, Сиса Л. В., Рак Ю. М. Спосіб фізичного моделювання процесу поширення забруднення внаслідок одноразового скиду нафтопродуктів у річку : пат. 123350 Україна : 51(2018.01). № у 201708610 ; заявл. 23.08.2017 ; опубл. 26.02.2018, Бюл. № 4.
32. Колодій В.В. Еколого-гідрохемічна характеристика рік північно-східного макросхилу Українських Карпат. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка*. 2003. Т. XII: Екологічний збірник. Екологічні проблеми Карпатського регіону. С. 126-135.
33. Faeli, Z., Montoya, B. & Gabr, M. (2022). Reactive Transport Modeling of Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation Utilizing Various Configurations of Injection Wells. *GeoCongress*, 178-188. <https://doi.org/10.1061/9780784484012.041>
34. Okoro, O., Lompe, K., Papineau, I., Sollicec, M., Fradette, L., & Barbeau, B. (2021). Simultaneous powdered activated carbon and coagulant injection during ballasted flocculation for trace benzene removal from diesel and gasoline-contaminated surface waters. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101846. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101846>
35. Наконечний Ю., Войтків П. Морфологічні особливості ґрунтів заплави ріки Стрий у межах гірської частини Українських Карпат. *Наукові записки Сумського державного педагогічного університету імені А. С. Макаренка. Географічні науки*. 2021. Т. 2, вип. 2. С. 46-53. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4782591>.
36. Байрак Г.Р. Застосування ГІС для візуалізації паводконебезпечних районів із врахуванням морфології та літології річкових долин (на прикладі долин рік Прибескидського Передкарпаття). *Геодезія, картографія і аерофотознімання. Міжвідомч. наук.-техн.збірник*. 2013. № 78(78). С. 43-48.

37. Укртранснафта введе в експлуатацію ділянку нафтопроводу «Дружба». *Українська Енергетика*. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/ukrtransnafta-vvede-v-ekspluatatsiiu-dilianku-naftoprovodu-druzhba> (дата звернення: 30.09.2022).
38. Khorolskyi, A., Hrinov, V. & Kaliushenko, O. (2019). Network models for searching for optimal economic and environmental strategies for field development. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management*, 6(3), 463-471.
39. Lazaruk, Y., Karabyn, V. (2020) Shale gas in Western Ukraine: Perspectives, resources, environmental and technogenic risk of production. *Pet. and Coal*, 62(3), 836-844.
40. Malovanyu, M., Petrushka, K. & Petrushka I. (2019). Improvement of Adsorption-Ion-Exchange Processes for Waste and Mine Water Purification. *Chemistry & Chemical Technology*, 13(3), 372–376. <https://doi.org/10.23939/chcht13.03.372>
41. Popovych, V., Bosak, P., Petlovanyi, M., Telak, O., Karabyn, V., & Pinder V. (2021). Environmental safety of phytogenic fields formation on coal mines tailings. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical sciences*, 2(446), 129-136. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.44>;
42. Карабин В. В. Чинники просідання та підтоплення територій вуглевидобутку Червоноградського гірничо-промислового району *Мінеральні ресурси України*. 2018. №3. С. 32-36
43. Про стратегічну екологічну оцінку : Закон України від 20.03.2018 р. № 2354-VIII : станом на 27 лип. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> (дата звернення: 30.09.2022).
44. Pettersson, M., Oksanen, A., Mingaleva, T., Petrov, V., & Masloboev, V. (2015). License to Mine: A Comparison of the Scope of the Environmental Assessment in Sweden, Finland and Russia. *Natural Resources*, 6(4), 237-255. <https://doi.org/10.4236/nr.2015.64022>
45. Guidance on consideration of soil in Strategic Environmental Assessment. *Scottish Environment Protection Agency (SEPA)*.

URL: <https://www.sepa.org.uk/media/162986/lups-sea-gu2-consideration-of-soil-in-sea.pdf> (дата звернення: 30.09.2022).

46. The role of ESIA and SEA in mainstreaming biodiversity. *The Conference of the Parties (COP)*. URL: <https://www.cbd.int/mainstreaming/doc/seas-mining-en.pdf> (дата звернення: 30.09.2022).

47. Kryvinska, N., & Bickel, L. (2020). Scenario-Based Analysis of IT Enterprises Servitization as a Part of Digital Transformation of Modern Economy. *Applied Sciences*, 10(3), 1076. <https://doi.org/10.3390/app10031076>

48. Rauer, J. N., Kroiss, M., Kryvinska, N., Engelhardt-Nowitzki, C., & Aburaia, M. (2021). Cross-university virtual teamwork as a means of internationalization at home. *The International Journal of Management Education*, 19(3), 100512. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2021.100512>

49. Постатейний коментар до Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку». *Екологія. Право. Людина*. URL: <http://epi.org.ua/human-posts/postatejnyj-komentar-do-zakonu-ukrayiny-pro-strategichnu-ekologichnu-otsinku-2> (дата звернення: 30.09.2022).

50. Applying Strategic Environmental Assessment Good Practice Guidance For Development Co-operation. *Organisation for economic co-operation and development*. URL: <https://www.oecd.org/environment/environment-development/37353858.pdf> (дата звернення: 30.09.2022).

51. Role of Mining in National Economies: Mining Contribution Index (3rd edition). *International Council on Mining and Metals*. URL: <https://www.icmm.com/en-gb/research/social-performance/2016/role-of-mining-in-national-economies> (дата звернення: 30.09.2022).

52. Report Mineral Resource Governance in the 21st Century. *United Nations Environment Programme*. URL: <https://www.unep.org/resources/report/mineral-resource-governance-21st-century> (дата звернення: 30.09.2022).

53. Public Consultation. *High-Level Advisory Board*. URL: <https://highleveladvisoryboard.org/public-consultation/> (дата звернення: 30.09.2022).

54. Проект Кодексу про надра – аналіз через призму сталого розвитку та врахування інтересів усіх зацікавлених сторін. *Екологія. Право. Людина*. URL: <http://epl.org.ua/announces/proyekt-kodeksu-pro-nadra-analiz-cherez-pryzmu-stalogo-rozvytku-ta-vrahuvannya-interesiv-usih-zatsikavlenyh-storin/> (дата звернення: 30.09.2022).
55. Проект Закону про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо підтримки розвитку вітчизняних галузей надрокористування : Законопроект від 05.10.2020 р. № 4187. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=70117 (дата звернення: 30.09.2022).
56. World Economic Situation and Prospects. *United Nation*. URL: <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/world-economic-situation-and-prospects-may-2022-briefing-no-160/> (дата звернення: 30.09.2022).
57. Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни : Указ Президента України від 21.04.2022 р. № 266/2022 : станом на 17 черв. 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/266/2022#Text> (дата звернення: 30.09.2022).
58. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року : Закон України від 21.04.2011 р. № 3268-VI : станом на 10 черв. 2012 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text> (дата звернення: 30.09.2022).
59. Про схвалення Концепції Державної цільової програми справедливої трансформації вугільних регіонів України на період до 2030 року : Постанова Каб. Міністрів України від 22.09.2021 р. № 1024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1024-2021-п#Text> (дата звернення: 30.09.2022).
60. Надрокористування та охорона довкілля. Аналіз проектів 4187 та 4187-1. *Екологія. Право. Людина*. URL: <http://epl.org.ua/announces/nadrokorystuvannya->

ta-ohorona-dovkillya-analiz-proyektiv-4187-ta-4187-1/#sdfootnote2sym (дата звернення: 30.09.2022).

61. Рудаков Д. В. Математичні моделі в охороні навколишнього середовища : Навч. посіб. Дніпро : Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2004. 160 с.

62. Smith, L. C., Smith, M., & Ashcroft, P. (2010b). Analysis of Environmental and Economic Damages from British Petroleum's Deepwater Horizon Oil Spill. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1653078>

63. Guidance for the Environmental Public Health Management of Crude Oil Incidents. August. *National Collaborating Centre for Environmental Health*. URL: https://www.ncceh.ca/sites/default/files/Guidance%20for%20the%20Management%20of%20Crude%20Oil%20Incidents_EN.pdf#page=143 (дата звернення: 30.09.2022).

64. Loboichenko, V., Leonova, N., Shevchenko, R., Kapustnik, A., Yeremenko, S., & Pruskyi, A. (2021). Assessment of the Impact of Natural and Anthropogenic Factors on the State of Water Objects in Urbanized and Non-Urbanized Areas in Lozova District (Ukraine). *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22(2), 59–66. <https://doi.org/10.12912/27197050/133333>

65. Shevchenko, R. I., Strelets, V. M., Loboichenko, V. M., Pruskyi, A. V., Myroshnyk, O. N., & Kamyshentsev, G. V. (2021). Review of up-to-date approaches for extinguishing oil and petroleum products. *SOCAR Proceedings*, (SI1), 169–174. <https://doi.org/10.5510/ogp2021si100519>

66. Yang, Z., Shah, K., Fieldhouse, B., Mirnaghi, F., Hollebone, B. P., Lambert, P., Goldthorp, M., Brown, C. E., & Yang, C. (2021). Characterization, occurrence and natural attenuation of spilled light synthetic crude oil in a boreal freshwater ecosystem. *Fuel*, 285, 119276. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119276>

67. Karabyn, V., Popovych, V., Shainoha, I., Lazaruk, Ya. (2019). Long-term monitoring of oil contamination of profile-differentiated soils on the site of influence of oil-and-gas wells in the central part of the Boryslav-Pokuttya oil-and-gas bearing area. *Pet Coal*, 61(1), 81-89

68. Long, Y., Wu, C., Jiang, C., Hu, S., & Liu, Y. (2016). Simulating the Impacts of an Upstream Dam on Pollutant Transport: A Case Study on the Xiangjiang River, China. *Water*, 8(11), 516. <https://doi.org/10.3390/w8110516>
69. Whitehead, P. G., Bussi, G., Peters, R., Hossain, M. A., Softley, L., Shawal, S., Jin, L., Rampley, C. P. N., Holdship, P., Hope, R., & Alabaster, G. (2019). Modelling heavy metals in the Buriganga River System, Dhaka, Bangladesh: Impacts of tannery pollution control. *Science of The Total Environment*, 697, 134090. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134090>
70. Родзиллер И. Прогноз качества воды водоемов-приемников сточных вод. Москва : Стройиздат, 1984. 263 с.
71. Sharp, J.J. (1981). Hydraulic modelling. Butterworths, London.
72. Кучмент Л., Демидов В., Мотовилов Ю. Формирование речного стока. Физико-математические модели. Наука. 1983. С. 61–178.
73. Третьяков О.В., Безсонний В.Л. Основні методи математичного моделювання для математичного забезпечення басейнового підходу в управлінні якістю водних ресурсів. *Системи обробки інформації*. 2016. №8 (145). С. 194-199.
74. Jorgensen, S.E., Bendricchio, G. 2001. Fundamentals of Ecological Modelling (3rd ed). Elsevier, Amsterdam.
75. Sherwood, T.K., Pigford, R.L., Wilke, C.R. (1975). Mass transfer. McGraw-Hill, New York.
76. Рудобашта С., Карташов Е. Диффузия в химико-технологических процессах. Химия. 1993. 208 с.