

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

УДК 551.311.21 + 624.131.66

К ВОПРОСУ О ПРИЧИНАХ И МЕХАНИЗМАХ РАЗРУШЕНИЯ БЕРЕГОВ
КРАСНОЙ РЕКИ В ХАНОЕ

Т.Х. ДИНЬ¹, О.Е. ВЯЗКОВА¹, И.К. ФОМЕНКО¹, С.В. КОЗЛОВСКИЙ²

¹ФБГОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия,
e-mail: wjask@yandex.ru

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева
Российской академии наук (ИГЭ РАН)
13, Уланский переулок, строение 2, а/я 145, г. Москва 101000, Россия
e-mail: direct@geoenv.ru

Прибрежные территории Красной реки, проходящий через город Ханой (столицу Вьетнама), осваиваются очень динамично разными видами строительства, добычи песка из русла реки и её берегов, откачка воды, создание прудов и сельского хозяйства. Но эта деятельность возможна только в районах, защищённых дамбой от ежегодных наводнений. Однако в последние годы стала быстро нарастать интенсивность боковой эрозии реки и связанных с ней суффозионных и оползневых процессов как в паводковые, так и в засушливые сезоны. Деформации захватывают естественные речные берега и тело дамбы. Авторами выполнен анализ причин и выявлены механизмы протекания этих процессов с учётом изменчивых климатических, тектонических, гидрологических, геологических и гидрогеологических условий, осложнённых экономической деятельностью в прибрежной зоне. В статье приведены расчёты устойчивости берегов в различных условиях (в период наводнения и после него), которые подтверждают теоретические представления о механизме процесса и совпадают с наблюдениями. Наибольший вклад в разрушение берегов вносит изменчивость угла внутреннего трения песков, входящих в разрез прибрежной территории.

Ключевые слова: боковая эрозия; суффозия; оползни; фильтрация; паводки; устойчивость берегов.

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2019-6-88-93>

CAUSES AND MECHANISMS OF THE DESTRUCTION OF THE RED RIVER
BANKS IN HANOI

THE H. DINH¹, OLGA E. VYAZKOVA¹, IGOR K. FOMENKO¹, SERGEY V. KOZLOVSKIY²

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University of Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia
e-mail: wjask@yandex.ru

²Sergeev Institute of Environmental Geoscience Russian Academy of Sciences (IEG RAS)
13, Ulansky pereulok, Moscow 101000, Russia

The coastal territories of the Red River, passing through the city of Hanoi (the capital of Vietnam), are developed very dynamically by different types of construction, sand extraction from the river bed and its banks, pumping of water, creation of ponds and agriculture. But these activities are only possible in areas protected against annual floods with a dam. However, in recent years, the intensity of lateral erosion of the river and associated suffocation and landslide processes has become rapidly increasing in both flood and dry seasons. Deformations capture natural river banks and the dam body. The authors analysed the causes and identified mechanisms of these processes taking into account variable climatic, tectonic, hydrological, geological and hydrogeological conditions complicated by economic activities in the coastal zone. The article provides calculations of the stability of banks in different conditions (during and after the flood), which confirms theoretical ideas about the mechanism of the process and coincide with the observations. The greatest contribution to the banks destruction is the variability of the internal friction angle of the sands entering the section of the coastal territory.

Keywords: lateral erosion; suffusion; soil slips; filtration; river floods; banks sustainability.



Территории Ханоя вблизи Красной реки являются особо ценными участками в различных аспектах градостроительства: функционально-планировочном, рекреационном и ландшафтно-композиционном. В современных условиях экономики Вьетнама преобразования приречных территорий приобретают большое значение как для самого города Ханоя, так и для Вьетнама в целом [9].

Речная эрозия является опасным геологическим процессом, который имеет разнообразные и сложные проявления и последствия [5]. На территории Ханоя этот процесс создает потенциальную опасность для жителей прибрежных территорий [1]. Поэтому выявление причин эрозии является важным практическим вопросом для устойчивого развития этих районов города.

Проанализируем основные компоненты инженерно-геологических условий, влияющие на формирование парагенезиса процессов в береговой зоне системы Красной реки в черте Ханоя. К ним относятся: климатический фактор, динамика русел системы Красной реки и её притоков, режим речного потока, геологическое строение береговой зоны, антропогенные факторы (техногенное воздействие).

Влияние климатического фактора на разрушение берегов Красной реки

Характерной чертой тропического муссонного климата является наличие двух сезонов с очень разным количеством атмосферных осадков. В сезон дождей в месяц выпадает до 200–300 мм, а в засушливый сезон для месяца нормой осадков является 12–70 мм, что меньше в 4–15 раз.

На рис. 1 показано, что русло Красной реки в черте Ханоя сильно меандрирует и имеет ширину в некоторых местах около 4 км. В сухой сезон ширина русла реки уменьшается примерно до 500 м и русло часто дробится на небольшие рукава, разделённые отмелями. Сезон дождей обычно длится с июня по октябрь и даёт 70–80% годового стока. Большие наводнения обычно случаются в июле и августе, благодаря участию притоков Красной реки (реки Да, Ло и Дуонг). В последние годы гидрологический режим стал усложняться, а русло реки часто меняет своё положение [13].

Эрозия берегов реки имеет разную природу в течение года [4, 16]. В период дождей это, в первую очередь, собственно эрозия, связанная с гидродинамическим воздействием от поверхностных вод рек системы Красной реки. Амплитуда колебания уровня воды в Красной реке и реке Дуонг достигает 12 м [11]. Во время паводка расходы реки Красной достигают в среднем около 30–35 тыс. м³/с (с максимумом 48 тыс. м³/с). Продолжительность пиковых паводков обычно составляет 15–20 дней. На пике паводка уровень реки поднимается до 15–20 м, скорость течения в 10–15 раз больше, чем в межень [15]. Вода в реке мутная, содержащая большое количество взвешенных материалов. Твёрдый сток реки достигает 9,6 кг/м³ воды. В пределах территории Ханоя русла рек извилистые, направление потока сильно изменяется, поэтому силовое воздействие потоков воды в реке Красной и реке Дуонг становится мощным фактором развития боковой эрозии [11] и связанного с ней разрушения берегов за счёт оползневого процесса.

Активизация оползневых процессов за счёт подъёма уровня воды в Красной реке проявляется различными способами, вызывая изменение напряженного состояния массива и физико-механических свойств грунтов, а также за счёт развития фильтра-



Рис. 1. Схема расположения Красной реки в черте Ханоя [12]
1 – дамба; 2 – границы между регионами; 3 – реки

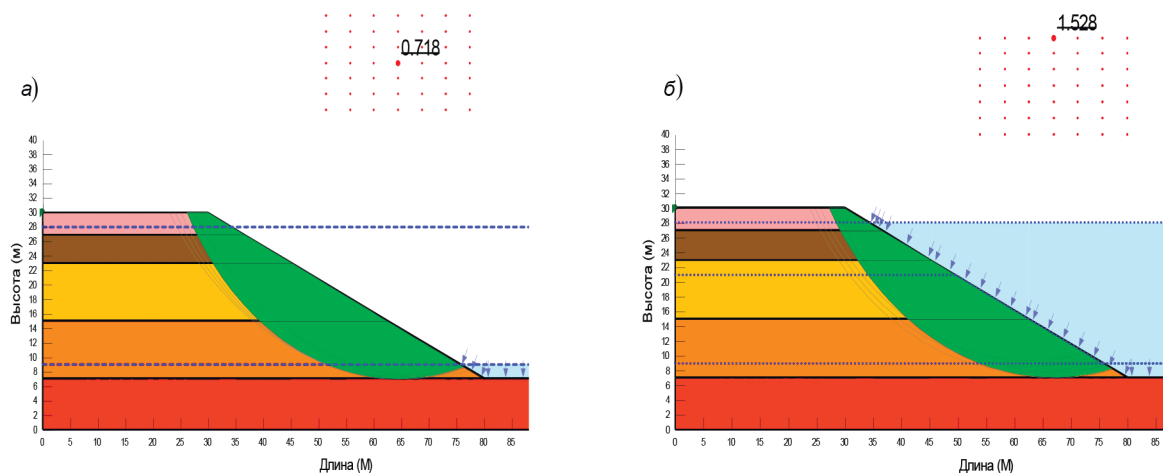


Рис. 2. Оценка устойчивости откоса берега реки при изменении уровня паводковых вод.

- а) Коэффициент устойчивости после быстрого спада воды;
б) Коэффициент устойчивости при пиках наводнения

ционных деформаций, связанных с увеличением порового давления в грунтах и гидродинамического воздействия потока подземных вод [6].

Выполненное моделирование устойчивости берегов при разном положении уровня воды в реке в зависимости от сезона (рис. 2, а и 2, б) показало, что за счёт быстрой сработки уровня паводковых вод коэффициент устойчивости (K_y) берегового склона может упасть более чем в два раза (с $K_y = 1,528$ на момент наибольшего подъёма уровня воды в реке, до $K_y = 0,718$ на момент его максимального падения).

В сухой сезон интенсивность и скорость эрозии берегов реки снижаются, изменяется причина по-

тери устойчивости. Разрушение берегов проявляется как результат фильтрации (разгрузки) подземных вод и связанной с этим процессом суффозии грунтов, слагающих берег [4, 13, 15].

Влияние динамики русел системы Красной реки и её притоков на разрушение берегов Красной реки

Боковая эрозия происходит на всем протяжении русла Красной реки в черте Ханоя, но есть разница в интенсивности процесса на правом и левом берегах [2]. Так из 21 зоны эрозии 15 расположено на правом берегу и 6 — на левом [13].

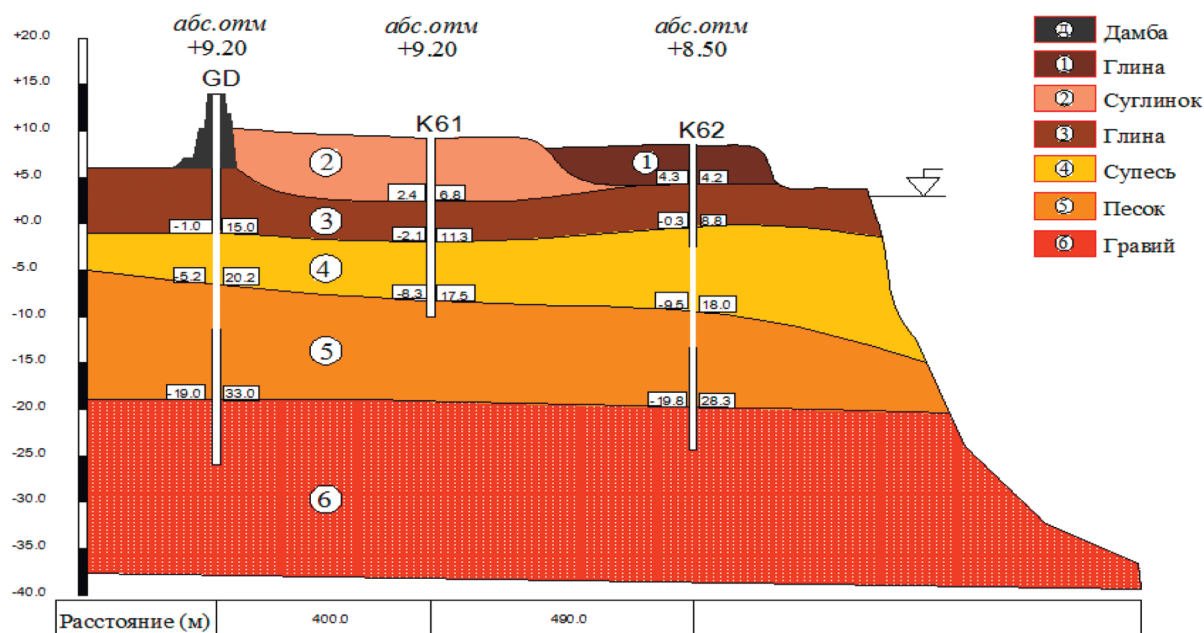


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез на ПК 61 км+200



Анализ схемы неотектоники (современных тектонических движений) позволяет предположить, что в настоящее время система русел реки Красная продолжает общую тенденцию передвижения на юг, при этом речная эрозия на правом берегу будет развиваться интенсивнее, чем на левом.

Влияние режима речного потока на размыв берега

Красная река в черте Ханоя принимает 4 крупных притока (Тао, Да, Ло, Дуонг). В местах слияния рек создаются турбулентные потоки (рис. 1) [12]. Когда эти потоки приближаются к берегам, они часто вызывают эрозию, приводящую к оползням и быстрому обрушению берегов. Локация и интенсивность разрушения берегов при этом зависят от скоростей притоков, впадающих в главную реку, поэтому эрозия и обрушение берегов в этих районах часто незакономерны.

В начале сезона дождей в 2011 г. боковая эрозия произошла в месте слияния трёх рек (Красной,

Тао и Да), смыв 7000 м земли на правом берегу этого района и 6000 м — на левом [15].

Влияние геологического строения береговой зоны на разрушение берегов Красной реки

Геологическое строение территории, относящейся к дельте Красной реки, разнообразно и различается от участка к участку, но есть и общие закономерности [8]. На рис. 3 показан разрез, характерный для правобережья Красной реки. На нём видно, что чередование пород в целом таково, что вверх по разрезу фильтрационные свойства грунтов ухудшаются (коэффициент фильтрации падает). Так на глубинах от 0 до 11,5 м залегают глина или суглинки, далее (от 11,5 до 33,0 м) — песок или супесь и глубже 33,0 м — гравий.

Берега реки на всём протяжении сложены супесью и песком, которые легко размываются водой [10]. Физические свойства грунтов показаны в таблице.

Таблица

Физико-механические свойства грунтов, слагающих берега Красной реки

Показатели свойства грунтов	Символ	Единица	Слой 2	Слой 3	Слой 4	Слой 5	Слой 6
Плотность грунта	ρ	г/см ³	1,79	1,85	1,90	1,95	2,20
Удельное сцепление	c	кПа	16,2	28,7	17,8	—	—
Угол внутреннего трения	ϕ	град	10°32'	12°43'	16°04'	27°29'	34°29'
Коэффициент фильтрации	K_f	м/сут	0,0009	0,0002	19	86,4	1037

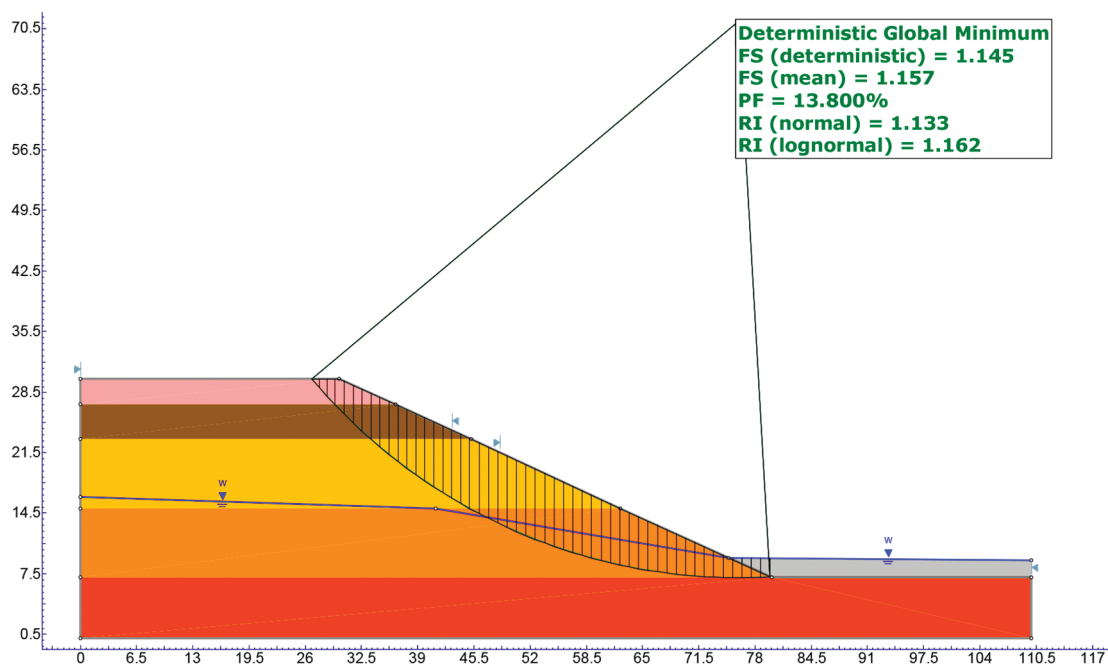


Рис. 4. Вероятностный анализ устойчивости берега Красной реки



Физико-механические свойства грунтов характеризуются сильной изменчивостью [2], с целью оценки влияния которой на устойчивость береговых склонов Красной реки был выполнен вероятностный анализ устойчивости [6] (рис. 4).

Анализ результатов расчёта показал, что несмотря на общую устойчивость (средний $K_y=1,17$), вероятность обрушения берега за счет изменчивости прочностных свойств грунтов, составляет 14%. При этом, наибольшее влияние на устойчивость оказывает изменчивость угла внутреннего трения песков, слагающих слой 5 (рис. 5).

Влияние антропогенных факторов на разрушение берегов Красной реки

В последние годы следствием социально-экономического развития города явилось изменение характера землепользования вдоль Красной реки, что сильно повлияло на естественное развитие реки. Увеличение активности строительства различных сооружений на берегах реки также является фактором изменения режима потока Красной реки. Кроме того, такие виды деятельности, как вырубка лесов, быстро увеличивающийся спрос на воду, также вызывают изменение режима речного стока, в том числе и твердого. Эти изменения влияют на морфологию русла и берега реки.

В настоящее время незапланированная добыча песка в Ханое активизирует эрозию русла Красной реки [14]. Согласно отчёту Ханойского Департамента природных ресурсов и Окружающей среды, объём песка и гравия, добываемых на Красной реке в районе Ханоя в 2015—2018 гг., оценивается в среднем в 28 млн. м³/год. Это увеличило скорость потока в сезон паводков. С другой стороны, разработка песка также изменяет естественный профиль русла реки, особенно направление оси реки, создавая аномалии потока, вызывая быструю и нерегулируемую эрозию берега. Вследствие быстрой

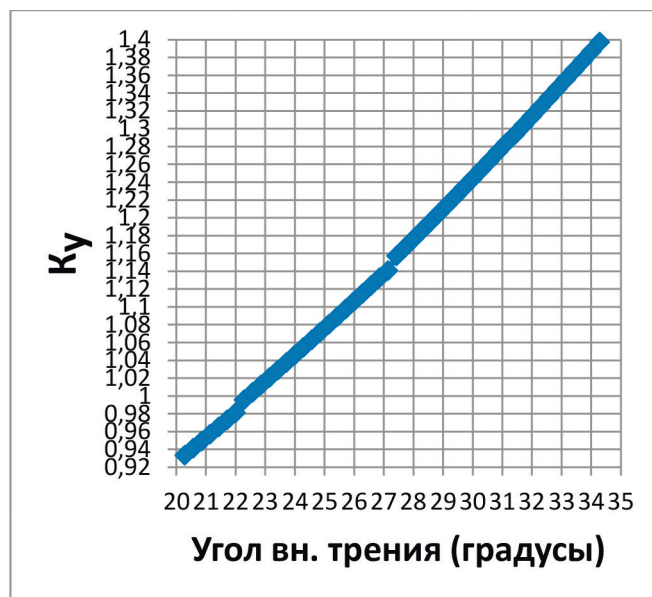


Рис. 5. Зависимость K_y берега от угла внутреннего трения песков, слагающих слой 5

урбанизации растёт спрос на земельные участки в прибрежных районах, на которых строятся крупные промышленные парки, паромы, склады и пр. Земляные работы в ходе строительства также усиливают процесс эрозии.

Заключение

В результате анализа событий в Ханое нам удалось выявить, что на ускорение процесса эрозии берегов реки более всего влияют сезонные климатические изменения, морфологические характеристики русла реки, гидрологический режим, геологическое строение и хозяйственная деятельность человека. Для того, чтобы ограничить и минимизировать ущерб из-за изменения русла реки и эрозии её берега, необходимо разрабатывать решения для регулирования потока реки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабич Д.Б., Иванов В.В., Коротаяев В.Н. Размывы речных берегов как негативные проявления русловых процессов // Геориск. 2016. № 3. С. 3848.
2. Гинко С.С. Катастрофы на берегах рек. Л. Гидрометеоиздат, 1997. 128 с.
3. Динь Т.Х., Вязкова О.Е., Фоменко И.К., Нгуен Т.К. Исследование причин и механизма процесса разрушения берегов Красной реки // Тезисы докладов 14-й международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 3. МГРИ Москва, 2019. С. 93–95.
4. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., Недра, 1977. 479 с.
5. Пендин В.В., Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. 4-е изд. Доп. КДУ Москва, 2015. 472 с.
6. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. ЛЕНАНД Москва, 2015. 320 с.
7. Семикина С.С., Сотников П.В. Оценка оползневой опасности береговых склонов на территории города Барнаула // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328, № 7. С. 6775.
8. Фи Х.Т., Строкова Л.А. Слабые грунты на территории города Ханоя (Вьетнам) // Инженерная геология. 2014. № 1. С. 30–36.



9. Ха Д.А. Направления преобразования и развития приречных территорий города Ханоя: Вьетнам: диссертация ... кандидата архитектуры: 05.23.22 / Ха Дуи Ань; [Место защиты: С.-Петерб. гос. архитектур.-строит. ун-т]. Санкт-Петербург, 2013. 182 с.: ил. РГБ ОД, 61 14-18/8.
10. Ч а л о в Р. С. Почему размываются берега рек? // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6, № 2. С. 99–106.
11. Ч а н М. Л. Теоретические и методологические основы организации мониторинга литотехнической системы «городская агломерация». Дис. д-ра геол.-мин. наук. М., 1998. 483 с.
12. Bản đồ danh giới thành phố Hà Nội. Năm 2012. Viện địa chất Hà Nội (на вьетнамском языке).
13. Báo cáo thống kê về tình hình xói mòn sông Hồng trong giai đoạn 2005–2015. Viện nghiên cứu – khoa học công trình thủy (на вьетнамском языке).
14. Nguyễn Hữu Nam, Trần Văn Tư, Hà Minh Đức. Tai biến địa chất ở bờ sông Hồng và biện pháp bảo vệ bờ. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2013. số 4. trang 44–56 (на вьетнамском языке).
15. Phạm Tích Xuân. Tai biến sạt lở bờ sông khu vực hợp lưu các sông Thao – Đà – Lô. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2012. Số 3. trang 18–26 (на вьетнамском языке).
16. Taukenov. T., Dzhanaaleeva. K., Yerzhanova. Z. Methods of improving the efficiency of monitoring of channel deformations of mountain rivers near built-in settlements: on the example of the buktyrma river. Geodesy and cartography, 2018 volume 44 issue 1: 28–35.

REFERENCES

1. Babich D.B., Ivanov V.V., Korotaev V.N. Razmyvy rechnykh beregov kak negativnye proyavleniya ruslovykh processov. Riverside erosion as a negative result of riverbed's processes/ *Georisk* [Georisk], 2016, no 3, pp. 38–48. (In Russian).
2. Ginko S.S. Katastrofy na beregah rek. [Riverside calamities] L. Gidrometeoizdat Publ, 1997. 128 p. (In Russian).
3. Din' T.H., Vjazkova O.E., Fomenko I.K., Nguen T.K. Issledovanie prichin i mehanizma processa razrusheniya beregov Krasnoj reki [Reasons and mechanisms of Red riverside destruction]. Tezisy dokladov 14-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Novye idei v naukah o Zemle». [Theses of reports of XV International Scientific and Practical Conference New Ideas in Earth Sciences], V. 3, MGRI Moskva, 2019, pp. 93–95. (In Russian).
4. Lomtadze V.D. Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika. [Engineering geology. Engineering geodynamics] L., Nedra Publ, 1977, 479 p. (In Russian).
5. Pendin V.V., Bondarik G.K., Jarg L.A. Inzhenernaya geodinamika: uchebnik. [Engineering geodynamics: a textbook] 4-e izd. Dop. KDU Moskva, 2015, 472 p. (In Russian).
6. Pendin V.V., Fomenko I.K. Metodologiya ocenki i prognoza opolznevoj opasnosti. [Assessment and forecast of a slide hazard] LENAND Moskva Publ, 2015, 320 p. (In Russian).
7. Semikina S.S., Sotnikov P.V. Ocenka opolznevoj opasnosti beregovykh sklonov na territorii goroda Barnaula [Assessment of the slide hazard of the Barnaul's riverside], *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta* [Izvestiya TPU]. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University* [TPU news]. Inzhiniring georesursov, 2017, V. 328, no 7, pp. 67–75. (In Russian).
8. Fi H.T., Strokova L.A. Slabye grunty na territorii goroda Hanoja (V'etnam) Hanoi territory's weak soil (Vietnam). *Inzhenernaya geologiya*. [Engineering geology], 2014, no 1, pp. 30–36. (In Russian).
9. Ha D.A. Napravleniya preobrazovaniya i razvitiya prirechnykh territorij goroda Hanoja: V'etnam [Transformation and development of Hanoi riverside areas]: dissertacija ... kandidata arhitektury : 05.23.22. Ha Dui An'; [Mesto zashchity: S.-Peterb. gos. arhitektur. stroit. un-t]. Sankt-Peterburg, 2013, 182 p.: il. RGB OD, 61 14-18/8. (In Russian).
10. Chalov R.S. Pochemu razmyvajutsja berega rek? Why do riversides erode?? *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal*. [Soros educational journal] 2000, V. 6, no 2, pp. 99–106. (In Russian).
11. Chan M.L. *Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy organizacii monitoringa litotekhnicheskoy sistemy «gorodskaya aglomeracija»*. Diss. dokt. geol.-min. nauk [Theoretical and methodological bases of the organization of monitoring of lithotechnical system «urban agglomeration». Dr. geol. and mineral. sci. diss.]. Moscow, 1998, 483 p. (In Russian).
12. Bản đồ danh giới thành phố Hà Nội. Năm 2012. Viện địa chất Hà Nội (Vietnamese).
13. Báo cáo thống kê về tình hình xói mòn sông Hồng trong giai đoạn 2005–2015. Viện nghiên cứu – khoa học công trình thủy (Vietnamese).
14. Nguyễn Hữu Nam, Trần Văn Tư, Hà Minh Đức. Tai biến địa chất ở bờ sông Hồng và biện pháp bảo vệ bờ. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2013. số 4. trang 44–56 (Vietnamese).
15. Phạm Tích Xuân. Tai biến sạt lở bờ sông khu vực hợp lưu các sông Thao – Đà – Lô. Tạp trí khoa học về trái đất năm 2012. Số 3. trang 18–26 (Vietnamese).
16. Taukenov. T., Dzhanaaleeva. K., Yerzhanova. Z. Methods of improving the efficiency of monitoring of channel deformations of mountain rivers near built-in settlements: on the example of the buktyrma river. Geodesy and cartography, 2018 volume 44 issue 1: 28–35.