

Структура и функционирование региональных геосистем Structure and Functioning of Regional Geosystems

УДК 551.43

DOI 10.52575/2712-7443-2026-50-3-468-477

EDN ATDSBG

Суффозия и подтопления как пример экзодинамических процессов в пределах Чебоксарского городского округа

Ильина А.А., Никонорова И.В.

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова,
Россия, 428003, г. Чебоксары, пр. Московский, 15
nastya67.q@mail.ru, niko-inna@yandex.ru

Аннотация. Важную роль при территориальном планировании городских территорий занимают экзодинамические процессы. К ним относятся суффозия и подтопление, которые широко представлены в пределах Чебоксарского городского округа. Актуальность исследования заключается в том, что данный вопрос изучен недостаточно хорошо. Данные по комплексной оценке влияния экзодинамических процессов на территориальное планирование и городскую планировку отсутствуют, в виду того, что разные авторы исследовали отдельные аспекты данной тематики. Целью данного исследования является изучение экзодинамических процессов в пределах Чебоксарского городского округа. В качестве экзодинамических процессов в данном исследовании выступают суффозия и подтопления. Исследование проводилось на основе дешифрирования спутниковых снимков в программных комплексах *SASPlanet* и *GoogleEarth*, и осуществлялось в ходе полевых выходов. Картографический материал был составлен в ГИС Аксиома. Выявлено, что наибольший процент подтопления наблюдается на территории Заволжья, и по долинам рек города Чебоксары. Наибольшее развитие потенциальных случаев развития суффозии прослеживается на территории Московского района. Выявлено, что степень благоустроенности родников уменьшает вероятность возникновения суффозии. При сопоставлении картографического материала по распространению суффозии и подтопления установлено, что наибольшее количество исследуемых ключевых участков расположено на территории Московского района Чебоксарского городского округа. Московский район характеризуется большой концентрацией многоэтажных зданий и сооружений, в связи с чем, застраиваются территории малопригодные для строительства. Поэтому мероприятия по инженерной защите территории от экзодинамических процессов нужно начинать именно здесь. Результаты исследования могут быть использованы при дальнейшей планировке территории Чебоксарского городского округа.

Ключевые слова: экзогенные процессы, суффозионные процессы, зона подтопления, родники, благоустроенность родников, долины рек, городская застройка, г. Чебоксары

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского Научного Фонда (проект № 24-27-20133) и Чувашской Республики, <https://rscf.ru/project/24-27-20133/>

Для цитирования: Ильина А.А., Никонорова И.В. 2026. Суффозия и подтопления как пример экзодинамических процессов в пределах Чебоксарского городского округа. Региональные геосистемы, 50(3): 468–477. DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-3-468-477 EDN: ATDSBG

Suffusion and Flooding as Examples of Exodynamic Processes in the City of Cheboksary

Anastasiya A. Ilyina, Inna V. Nikonorova

I.N. Ulyanov Chuvash State University,
15 Moscow Ave., Cheboksary 428003, Russia
nastya67.q@mail.ru, niko-inna@yandex.ru

© Ильина А.А., Никонорова И.В., 2026

Abstract. Exodynamic processes play an important role in the territorial planning of urban areas. These include suffusion and flooding, which are widely present in Cheboksary. Data on the comprehensive assessment of the impact of exodynamic processes on territorial planning and urban design are lacking, as various authors have studied individual aspects of this topic. This explains the relevance of the study. The purpose of our research is to explore exodynamic processes within the city. The study was conducted during field visits to key sites and based on the interpretation of satellite images using the SASPlanet and GoogleEarth software packages. The cartographic material was prepared in GIS Axiom. A significant spread of flooding zones was found in the Trans-Volga region, as well as in the valleys of small rivers in Cheboksary. The highest number of potential cases of suffusion was identified in the Moscovsky district of Cheboksary. In places where the springs are in good condition, the suffusion is less pronounced. When comparing the cartographic data on the distribution of suffusion and flooding, it was found that the largest number of the studied key sites are located in the Moscovsky district of the Cheboksary. This is where measures for engineering protection against exodynamic processes should be primarily carried out due to a large concentration of multi-storey buildings and structures. The results of the study can be useful in urban planning of Cheboksary.

Keywords: exogenous processes, suffusion processes, flooding zone, springs, landscaping of springs, river valleys, urban development, Cheboksary

Acknowledgements: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 24-27-20133) and the Chuvash Republic, <https://rscf.ru/project/24-27-20133/>

For citation: Ilyina A.A., Nikonorova I.V. 2026. Suffusion and Flooding as Examples of Exodynamic Processes in the City of Cheboksary. Regional Geosystems, 50(3): 468–477 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2026-50-3-468-477 EDN: ATDSBG

Введение

Родники и питающие их подземные воды во многом определяют несущие способности (градостроительные свойства) грунтов. При непрофессиональном подходе проявляют себя в формировании и протекании опасных для подземных и наземных сооружений экзогенных геологических процессов (подтопления, переувлажнения, заболачивания, мерзлотного пучения, неравномерной просадки грунтов, суффозии, оползневых явлений, коррозии) [Еремина, 2016]. Город Чебоксары и территория формирующейся Чебоксарской агломерации характеризуются активным градостроительным, транспортным и хозяйственным освоением. Исследование экзодинамических процессов города является актуальным для его пространственного планирования и устойчивого развития. В Чувашской столице наблюдается положительная динамика численности населения, которая приводит к дефициту городских земельных ресурсов. В оборот вовлекаются не очень удобные для строительства территории: прибрежные части склонов малых рек, а также коренной склон р. Волги [Ильина, Ильин, 2023]. Это увеличивает нагрузку, нарушает естественный дренаж и часто провоцирует подвижки склонов. Изучение перечисленных явлений в настоящее время находится на недостаточном уровне ввиду того, что отдельные фрагменты этого вопроса отражались различными авторами при решении частных задач на отдельных участках и отсутствие обобщающих данных весьма осложняет проведение общей оценки всей проблемы. Территория Чебоксарского городского округа представлена отложениями татарского яруса пермской системы, которые относятся к отложениям, наиболее подверженным экзодинамическим процессам. Без детального понимания и картирования экзодинамических опасностей рациональное городское планирование невозможно [Ильина и др., 2023]. Установлено, что наибольшую интенсивность, связанную с тем, что в экзодинамике земной коры ведущую роль играет вода, имеют следующие процессы: водная эрозия, загрязнение природных вод, суффозия, прямое перемещение почвогрунтов и др. [Горшков, 1982]. Наиболее распространенными на территории Чебоксарского городского округа являются следующие экзодинамические процессы: суффозионные ниши и подтопления территорий. В статье рассмотрены особенности их территориального размещения и условия формирования.

Объекты и методы исследования

Целью данного исследования является изучение экзодинамических процессов, протекающих на территории Чебоксарского городского округа. Объектом исследования выступают процессы подтопления и суффозионные процессы Чебоксарского городского округа (ЧГО).

Изучением суффозионных процессов в пределах городских территорий занимались как советские, так и зарубежные исследователи. Отдельно можно выделить работы таких ученых как М.И. Кучин, Л.А. Рождественская, Т.Я. Емельянова, Н.В. Крепша. Вопросы классификации суффозии достаточно детально рассмотрены в работах: В.П. Хоменко – выделил виды по характеру разрушения грунтов механической и химической суффозией; А.Г. Лыкошкин – рассматривал механизмы суффозионного выноса, условия его возникновения; И.А. Печеркин – трактовал суффозию сложным физико-химическим процессом, включающим в себя растворение, вынос и эрозию; Ю.В. Архидьяконских – выделил типы суффозии; В.Д. Ломтдазе – предложил рассматривать критические градиенты и давление воды как определяющие показатели интенсивности механической суффозии, указывая на них как на условия, при которых возникает данный процесс; А.В. Павлов – утверждал, что к основным факторами развития суффозии относятся дренаж подземных вод, химическое и механическое разрушение горных пород [Димухаметов и др., 2015; Строкова, Леонова, 2021; Кашперюк и др., 2023]. Среди зарубежных исследователей можно отметить работы С.А. Гарсия-Крусато, Н.Л. Рамирес-Серрато, Г.С. Эррера-Самаррон, М.А. Эрнандес-Эрнандес, Ф.Д. Йепес-Ринкон, Дж. Прасомсри, Е. Ян, А. Такахаша, Дж. Вон, и др. [García-Cruzado et al., 2025; Prasomsri et al., 2025; Yang et al., 2025].

Подтопление в долинах рек на территории города освещено в работах Е.М. Сергеева, С.Г. Добровольского, М.Н. Истоминой, К.И. Кузевановым [Олтян и др., 2023], а также в работах зарубежных исследователей: Я. Брезник, К. Оштир, Г. Рак, Дж.Л. Невес, Э. Арока-Хименес, С.Л. Каттер, Х.М. Бодок, Х.А. Гарсия, М.М. Рахман, М. Деб Л. Камруззаман, Х.М.Т. Ислам, Д.Солла, и др. [Pacetti et al., 2022; Neves, 2024; Solla et al., 2024; Aroca-Jiménez et al., 2025; Breznik et al., 2025].

Суффозия наблюдается на территориях распространения лессов и лессовидных суглинков, в нижних частях склонов речных долин. Одним из необходимых условий суффозии является наличие в породе как крупных частиц, образующих природный каркас, так и вымывающихся мелких. Вынос начинается лишь с определенных значений напора воды, ниже которых происходит только фильтрация. Суффозионные провалы имеют как природное, так и техногенное происхождение. Большое значение имеет антропогенное воздействие, а именно – сброс сточных вод, что усиливает развитие данного процесса. Техногенная суффозия встречается в местах утечек из водопроводных и канализационных сетей, баражного эффекта [Строкова, Леонова, 2021]. Наличие суффозии на активной фазе развития карста в определенных условиях приводит к формированию депрессионной воронки в верхнем водоносном горизонте и уровень грунтовых вод принимает V-образную форму. В основании нерастворимых пород создаются подземные полости за счет просачивающейся сверху воды, и движущаяся по трещинам вода растворяет по пути движения сульфатные, карбонатные и другие породы, что приводит к нарушению устойчивости свода и его обрушению. Форма, размеры воронок и частота их образования тесно связаны с геологическим строением, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями, режимом подземных вод [Едемский и др., 2021].

Нами предполагается, что исследуемые родники являются потенциальными источниками суффозионных процессов. Изучение суффозионных процессов было проведено в ходе полевых выходов и включает: определение координат, описание интенсивности протекания процессов, зон негативного воздействия, степени благоустроенности родников, характера разгрузки подземных вод.

Подтопление в городах может иметь не только региональный и локальный, но и объектный (точечный) характер [Зими́на, 2020; Solla et al., 2024; Aroca-Jiménez et al., 2025]. Процессы подтопления были изучены по результатам дешифрования спутниковых снимков. Дешифрование заключалось в сравнении спутниковых снимков различных лет (2015–2025 гг.) в программных комплексах *GoogleEarth*, *SASplanet* [Breznik et al., 2025; Rahman et al., 2025]. Данные были уточнены в ходе полевых выходов. Описание подтапливаемых территорий включало территориальную приуроченность к отдельным районам и микрорайонам Чебоксарского городского округа, долинам рек, площадным показателям. По материалам исследований был составлен картографический материал в ГИС Аксиома.

Результаты и их обсуждение

На территории ЧГО было выделено 37 ключевых участков, на которых наблюдаются ежегодные активизации экзогенных процессов – подтопление территории.

Подтопления в долинах рек Чебоксарского округа представлены породами аллювиальных отложений пойменных террас: пески, суглинки, гравий, глины современного звена. Общая площадь подтопляемых территорий составляет 58,4 га, а от общей площади ЧГО занимает 0,23 % (рис. 1).

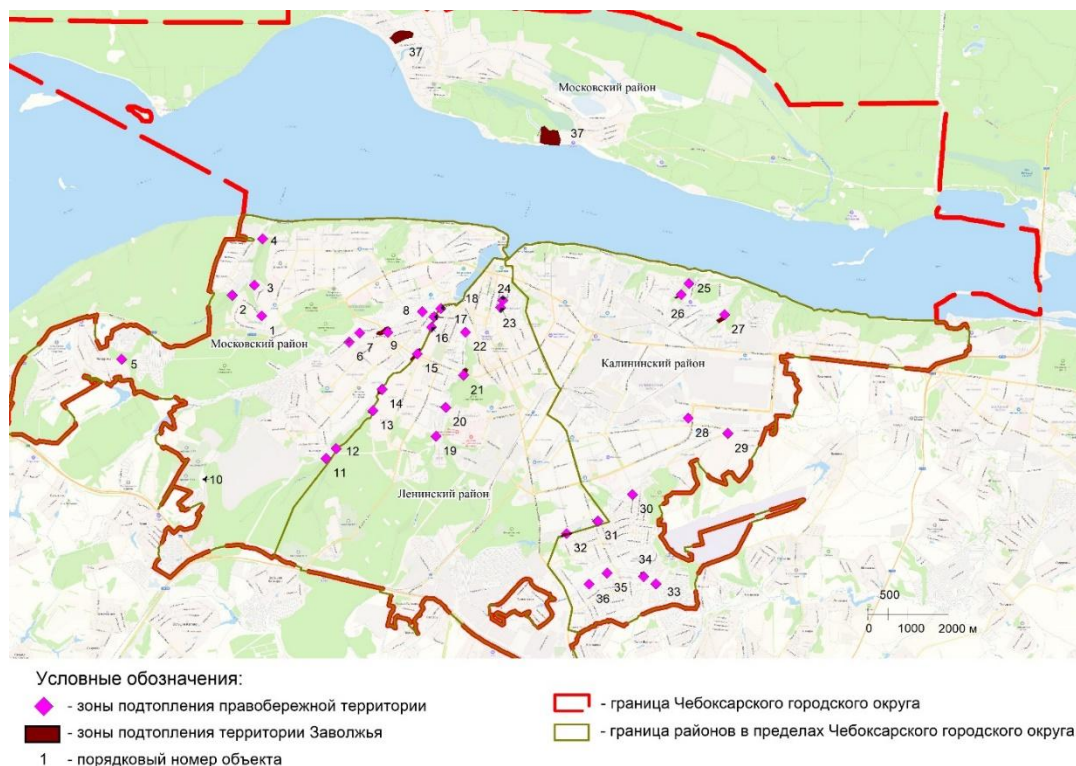


Рис. 1. Карта распространения процессов подтопления в Чебоксарском городском округе
Fig. 1. Map of flooding processes distribution in the city of Cheboksary

Подтопления встречаются в большинстве случаев по долинам рек, протекающих в черте города Чебоксары. К ним можно отнести реки Чебоксарска, Сугутка, Кайбулка, Кукшум (см. таблицу). Расположенные вдоль этих рек территории затапливаются чаще всего в весеннее время года, во время таяния снега. Анализ спутниковых снимков показал, наибольший процент подтопления приходится на Заволжский участок ЧГО (58 %), а также на долины рек города Чебоксары: Сугутка (9 %), Чебоксарка (8 %), которые относятся к Московскому и Ленинскому району г. Чебоксары. Наименьший процент имеют территории долины рек Малая Кувшинка (2 %) и Шупашкарка (1 %).

Перечень подтопляемых территорий в пределах Чебоксарского городского округа
List of flooded areas within the city of Cheboksary

№ п/п	Река	Площадь затапливаемой территории (га)	Микрорайоны, попадающие в зону подтопления
1	Исток правого притока реки Шупашкарка	0,17	Мкр. Университет
2	Исток левого притока реки Шупашкарка	0,11	Садовое товарищество «Заовражное»
3	Исток правого притока реки Шупашкарка	0,47	Территория в северо-западном районе, по ул. Надежды
4	Долина реки Шупашкарка	0,46	Территория по ул. Заовражная
5	Исток реки Чебоксарка	0,21	д. Чандрово
6	Долина реки Чебоксарка	0,20	Юго-западный район, территория вдоль ул. Красногорская
7	Долина реки Чебоксарка	0,11	Юго-западный район, территория вдоль ул. Красногорская
8	Долина реки Чебоксарка	0,24	СНТ «Дружба»
9	Долина реки Чебоксарка	3,72	СНТ «Рассвет»
10	Исток правого притока реки Чебоксарка	0,1	Территория кладбища №12
11	Устье левого притока реки Сугутка	0,43	Садовое товарищество «Энергетик»
12	Долина реки Сугутка	0,37	Садовое товарищество «Энергетик»,
13	Долина реки Сугутка	0,62	5-й мкрн. Садовый, ГК на бульваре Миттова
14	Долина реки Сугутка	1,19	Байконур, 4-й мкрн. Садовый
15	Долина реки Сугутка	1,91	Юго-западный район, территория вдоль ул. Спартак, поселок имени Кирова
16	Долина реки Сугутка	0,34	Поселок имени Кирова, территория ул. Короленко
17	Долина реки Сугутка	0,1	Поселок имени Кирова
18	Долина реки Сугутка	0,45	Территория вдоль ул. 2-я Коммунальная Слобода
19	Левый приток реки Трусиха	0,39	Территория по ул. 2-я Заречная
20	Долина реки Трусиха	0,31	Садоводческое товарищество Коммунальник-1
21	Долина реки Трусиха	1,65	Территория вдоль Яблоневой ул.
22	Долина реки Трусиха	0,2	Территория вдоль Яблоневой ул.
23	Долина реки Кайбулка	0,45	Мкр «Благовещенский»
24	Долина реки Кайбулка	0,27	Мкр «Благовещенский»
25	Водоток между Соляное и Гремячево	0,6	Мкр. Соляное
26	Водоток между Соляное и Гремячево	0,63	Мкр. Соляное
27	Ручей возле Гремячево	3,06	Гремячево
28	Долина реки Малая Кувшинка	0,79	Квартал Пятино
29	Долина реки Малая Кувшинка	0,19	14-й мкрн.
30	Долина реки Кукшум	0,78	Поселок Южный
31	Долина реки Кукшум	0,12	Поселок Южный
32	Долина реки Кукшум	1,26	Поселок Южный
33	Долина реки Шалмас	0,67	СНТ «Мичуринец», садовое товарищество «Питомник-2»
34	Долина реки Шалмас	0,82	Деревня Вачалкасы, садовое товарищество «Питомник-1», СНТ «Коммунальник-3»
35	Долина реки Шалмас	0,49	Поселок Южный, СНТ «Южный»
36	Долина реки Шалмас	0,22	Поселок Южный
37	Река Волга	34,3	Заволжский участок (п. Сосновка и п. Октябрьский)

Суффозионные процессы на территории ЧГО развиты в местах высачивания мелкоземистого материала из родников. Здесь происходит изменение рельефа, его понижение в виде траншеи, образуется так называемая суффозионная или циркообразная ниша [Nikopogova et al., 2024]. Пространственное распределение суффозионных процессов представлено на рис. 2.



Рис. 2. Карта распространения суффозионных процессов в пределах Чебоксарского городского округа

Fig. 2. Map of suffusion processes distribution within the city of Cheboksary

Наибольшее количество родников и, соответственно, потенциальных случаев проявления суффозионных процессов наблюдается в Московском районе (17 родников), далее идет Ленинский район (11 родников), и меньше всего зафиксировано в Калининском районе (8 родников). Благоустроенность родников влияет на интенсивность развития суффозионных процессов. В местах, где родники являются благоустроенными проявление суффозии – наименьшее. Наибольшую потенциальную опасность представляют неблагоустроенные родники. Территориально они приурочены к окраинам и пригородным частям г. Чебоксары, садовым товариществам. Именно здесь наблюдается максимальное отступление склонов – ниш, из которых вытекают родники. Отдельно следует упомянуть строительство купелей, святых источников на родниках, которых на территории ЧГО насчитывается не менее 7 единиц. С одной стороны, благоустройство родников снижает вероятность развития суффозионных процессов. С другой, приводит к дополнительной антропогенной нагрузке на прилегающую к родникам территорию.

Сопоставление карты распространения подтопления и карты распространения суффозии показало, что сосредоточение наибольшего количества проявлений экзодинамических процессов, наблюдается в Московском районе (рис. 3).

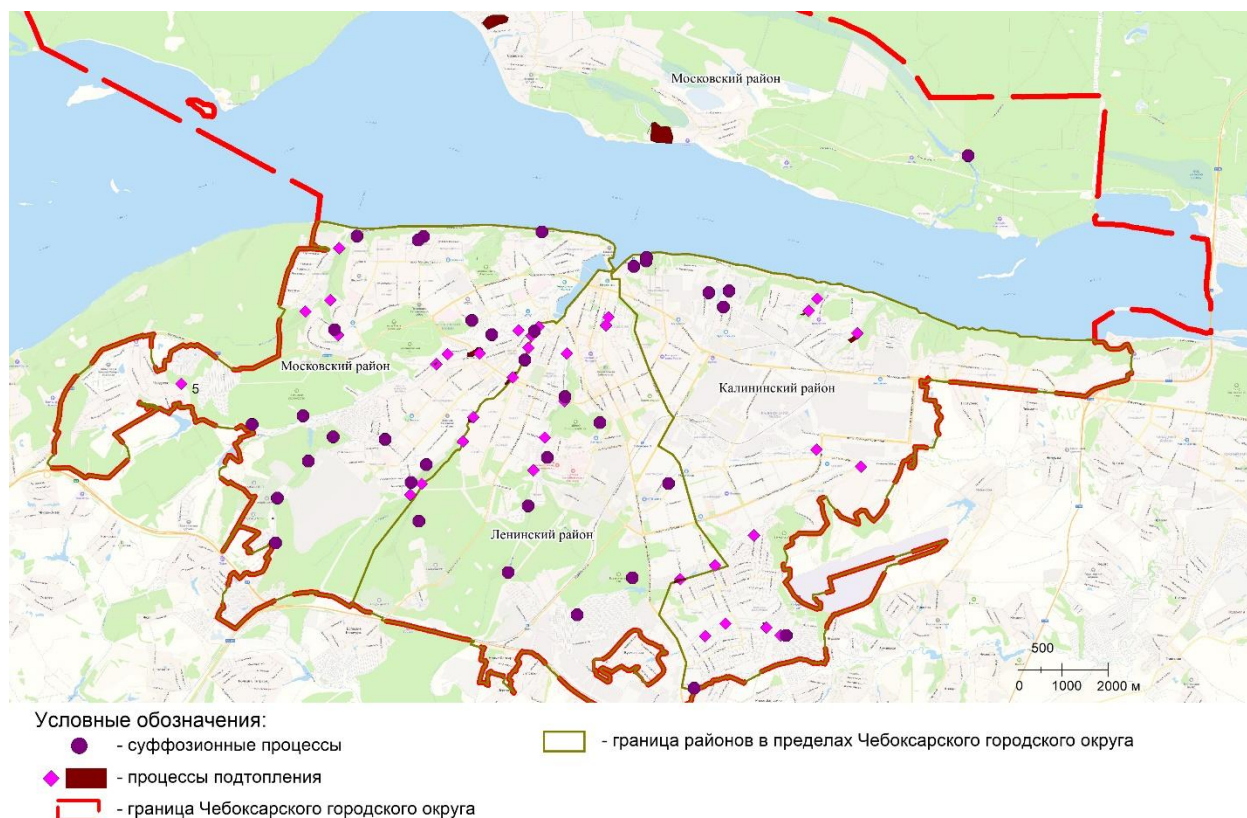


Рис. 3. Карта распространения экзодинамических процессов в пределах Чебоксарского городского округа

Fig. 3. Map of exodynamic processes distribution within the city of Cheboksary

Данный район характеризуется максимальной плотностью застройки, высокоэтажным строительством. «Престижность» Московского района привела к застраиванию малопригодных с геолого-геоморфологической точки зрения участков. Именно поэтому мероприятия по инженерной защите территории от экзодинамических процессов нужно начинать именно здесь.

Закключение

Территория Чебоксарского городского округа характеризуется интенсивным развитием экзодинамических процессов, что связано с разноплановым хозяйственным освоением городских территорий. Гидрологический режим, измененный в результате заполнения Чебоксарского водохранилища и подъема уровня грунтовых вод, обусловил ряд негативных экзогенных процессов, включая гидроморфные (подтопление, заболачивание), береговую эрозию, активизацию склоновых процессов (оползни) и плоскостной эрозии (оврагообразование), а также инфильтрационное загрязнение подземных вод. Значительная доля подтопления приходится на Заволжский участок Чебоксарского городского округа и на долины рек Сугутка, Чебоксарка, находящихся на территории Московского района, и Кукшум. Наибольшее количество случаев проявления суффозии наблюдается в Московском районе. Отмечено снижение интенсивности суффозии на благоустроенных родниках. Анализ карт распространения подтопления и суффозии, показал, что Московский район испытывает существенное воздействие экзодинамических процессов, которые необходимо учитывать при территориальном планировании.

Список литературы

- Горшков С.П. 1982. Экзодинамические процессы освоенных территорий. М., Недра, 286 с.
- Димухаметов Д.М., Новопоселенских Л.А., Бахарева Н.С. 2015. Суффозионные процессы на территориях городов. Современные проблемы науки и образования, 2–2: 890.
- Едемский Д.Е., Петров Н.Ф., Прокопович И.В. 2021. Применение низкочастотных георадаров для изучения и контроля экзогенных геологических процессов. Разведка и охрана недр, 9: 14–23.
- Еремина А.В. 2016. Университетские родники г. Томска: состав и особенности обустройства. В кн.: Проблемы геологии и освоения недр. Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 04–08 апреля 2016. Томск, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Т. 1: 648–650.
- Зими́на А.А. 2020. Факторы, влияющие на подтопление городских территорий. В кн.: Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК. Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Курган, 27 февраля 2020. Курган, Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева: 305–308.
- Ильина А.А., Ильин В.Н. 2023. Долины рек г. Чебоксары: возможности и риски при строительном освоении территории. В кн.: Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов). Материалы XIII семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов, Набережные Челны, 25–29 апреля 2022. М., Набережночелнинский государственный педагогический университет: 36–41.
- Ильина А.А., Никонорова И.В., Ильин В.Н. 2023. Геологические условия Чебоксарского городского округа Чувашской Республики. Естественнонаучные исследования в Чувашии, 9: 72–77.
- Кашперюк П.И., Москалев Д.С., Хоменко В.П. 2023. Водопонижение как ведущий фактор развития суффозии при строительстве фундаментов глубокого заложения. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, 4: 18–28. <https://doi.org/10.31857/S0869780923030049>.
- Олтян И.Ю., Арефьева Е.В., Болгов М.В., Жданенко И.В., Сергеев Е.Б., Котосонов А.С. 2023. Моделирование и оценка длительности затопления местности при наводнении редкой повторяемости. Ч. 1. Технологии гражданской безопасности, 20 (3(77)): 39–49.
- Строкова Л.А., Леонова А.В. 2021. Оценка суффозионной опасности на территории г. Томска. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 332(5): 49–59. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/5/3185>
- Aroca-Jiménez E., Cutter S.L., Bodoque J.M., García J.A. 2025. Enhancing Understanding of Vulnerability and Resilience to Flash Floods Through Comparative Analysis of Multidimensional Indices. International Journal of Disaster Risk Reduction, 125: 105540. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2025.105540>.
- Breznik J., Oštir K., Rak G. 2025. The Potential of Sentinel-1 Imagery for Flood Event Detection: A Satellite Vs. Hydraulic Model Comparison. Journal of Hydrology, 651: 132587. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132587>.
- García-Cruzado S.A., Ramírez-Serrato N.L., Herrera-Zamarrón G.S., Hernandez-Hernandez M.A., Yépez-Rincón F.D., ... Olea-Olea S. 2025. Mapping Sinkhole Susceptibility in Mexico City Using the Weight of Evidence Method. Journal of South American Earth Sciences, 153: 105368. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105368>.
- Nikonorova I.V., Ilyin V.N., Ilyina A.A., Nikitin A.A. 2024 Increasing the Ecological and Recreational Importance of the Springs of the Chuvash Republic. BIO Web of Conferences, 16: 03013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411600001>
- Neves J.L. 2024. Urban Planning for Flood Resilience Under Technical and Financial Constraints: The Role of Planners and Competence Development in Building a Flood-Resilient City in Matola, Mozambique. City and Environment Interactions, 22: 100147. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100147>
- Pacetti T., Cioli S., Castelli G., Bresci E., Pampaloni M., ... Caporali E. 2022. Planning Nature Based Solutions Against Urban Pluvial Flooding in Heritage Cities: A Spatial Multi Criteria Approach for

- the City of Florence (Italy). *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 41: 101081. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101081>.
- Prasomsri J., Nuntasarn R., Likitlersuang S., Takahashi A. 2025. Effect of Suffusion and Self-Filtration on Mechanical Behavior of Well-Graded Sands. *Soils and Foundations*, 65(3): 101622. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2025.101622>.
- Rahman Md.M., Kamruzzaman M., Deb L., Islam H.M.T.. 2025. Flood Mapping, Damage Assessment, and Susceptibility Zonation in Northeastern Bangladesh in 2022 Using Geospatial Datasets. *Progress in Disaster Science*, 25: 100402. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100402>.
- Solla D., Acuña-Alonso C., Peco-Costas C., Álvarez X. 2024. Flooding Study of the Loira River (Galicia, Spain): Importance of Pre-Evaluation in Land Management. *Cleaner Engineering and Technology*, 21: 100769. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100769>.
- Yang Y., Choi H., Lee J., Choe Y., Won J. 2025. Impact of Flow Direction on Suffusion of Sand-Clay Mixtures Under Variably Saturated Conditions. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 17(4): 2511–2525. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.05.038>.

References

- Gorshkov S.P. 1982. *Ekzodinamicheskiye protsessy osvoyennykh territoriy* [Exodynamic Processes of the Developed Territories]. Moscow, Publ. Nedra, 286 p.
- Dimukhametov D.M., Novoposelenskikh L.A., Bakhareva N.S. 2015. Suffosion Processes in the Cities. Modern problems of science and education, 2–2: 890 (in Russian).
- Edemskiy D.E., Petrov N.F., Prokopovich I.V. 2021. Application of Low-Frequency Ground-Penetrating Radars for the Study and Control of Exogenous Geological Processes. *Prospect and protection of mineral resources*, 9: 14–23 (in Russian).
- Eremina A.V. 2016. *Universitetskiye rodniki g. Tomska: sostav i osobennosti obustroystva* [University Springs of Tomsk: Composition and Features of the Arrangement]. In: *Problemy geologii i osvoyeniya nedr* [Problems of Geology and Development of the Subsoil]. Proceedings of the XX International Symposium named after Academician M.A. Usov for Students and Young Scientists, dedicated to the 120th anniversary of the founding of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 04–08 April 2016. Tomsk, Publ. National Research Tomsk Polytechnic University, Vol. 1: 648–650.
- Zimina A.A. 2020. Factors, Influencing on the Flooding of Urban Areas. In: *Achievements and Prospects of Scientific and Innovative Development of the Agro-Industrial Complex*. Proceedings of the All-Russian (national) Scientific and Practical Conference with international participation, Kurgan, 27 February 2020. Kurgan, Publ. Kurgan State Agricultural Academy named after T.S. Maltsev: 305–308 (in Russian).
- Ilyina A.A., Ilyin V.N. 2023. Doliny rek g. Cheboksary: vozmozhnosti i riski pri stroitelnom osvoyenii territorii [Cheboksary River Valleys: Opportunities and Risks in the Construction Development of the Territory]. In: *Erozionnyye, ruslovyye i ustyevyye protsessy (issledovaniya molodykh uchenykh universitetov)* [Erosion, Riverbed and Estuarine Processes (Research by Young University Scientists)]. Materials of the XIII seminar of young university scientists, united by the Interuniversity Council on the problem of erosion, riverbed and estuarine processes, Naberezhnye Chelny, 25–29 April 2022. Moscow, Publ. Naberezhnye Chelny State Pedagogical University: 36–41.
- Ilyina A.A., Nikonorova I.V., Ilyin V.N. 2023. Geological Conditions of Cheboksary City District of the Chuvash Republic. *Natural Science Research in Chuvashia*, 9: 72–77 (in Russian).
- Kashperuk P.I., Moskalev D.S., Khomenko V.P. 2023. Dewatering as a Leading Factor in the Development of Suffusion Upon the Construction of Deep Foundations. *Environmental Geoscience*, 4: 18–28 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869780923030049>.
- Oltyan I.Yu., Arefyeva E.V., Bolgov M.V., Zhdanenko I.V., Sergeev E.B., Kotosonov A.S. 2023. Modeling and Estimation of the Flooding Area Duration in Event of Floods of Rare Occurrence. Part 1. Technologies of civil safety, 20(3(77)): 39–49 (in Russian).
- Stroкова L.A., Leonova A.V. 2021. Assessment of Suffosion Hazard on the Territory of Tomsk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 332(5): 49–59 (in Russian). <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/5/3185>
- Aroca-Jiménez E., Cutter S.L., Bodoque J.M., García J.A. 2025. Enhancing Understanding of Vulnerability and Resilience to Flash Floods Through Comparative Analysis of Multidimensional

- Indices. International Journal of Disaster Risk Reduction, 125: 105540. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105540>.
- Breznik J., Oštir K., Rak G. 2025. The Potential of Sentinel-1 Imagery for Flood Event Detection: A Satellite Vs. Hydraulic Model Comparison. Journal of Hydrology, 651: 132587. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.132587>.
- García-Cruzado S.A., Ramírez-Serrato N.L., Herrera-Zamarrón G.S., Hernandez-Hernandez M.A., Yépez-Rincón F.D., ... Olea-Olea S. 2025. Mapping Sinkhole Susceptibility in Mexico City Using the Weight of Evidence Method. Journal of South American Earth Sciences, 153: 105368. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105368>.
- Nikonorova I.V., Ilyin V.N., Ilyina A.A., Nikitin A.A. 2024 Increasing the Ecological and Recreational Importance of the Springs of the Chuvash Republic. BIO Web of Conferences, 16: 03013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411600001>
- Neves J.L. 2024. Urban Planning for Flood Resilience Under Technical and Financial Constraints: The Role of Planners and Competence Development in Building a Flood-Resilient City in Matola, Mozambique. City and Environment Interactions, 22: 100147. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100147>
- Pacetti T., Cioli S., Castelli G., Bresci E., Pampaloni M., ... Caporali E. 2022. Planning Nature Based Solutions Against Urban Pluvial Flooding in Heritage Cities: A Spatial Multi Criteria Approach for the City of Florence (Italy). Journal of Hydrology: Regional Studies, 41: 101081. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101081>.
- Prasomsri J., Nuntasarn R., Likitlersuang S., Takahashi A. 2025. Effect of Suffusion and Self-Filtration on Mechanical Behavior of Well-Graded Sands. Soils and Foundations, 65(3): 101622. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2025.101622>.
- Rahman Md.M., Kamruzzaman M., Deb L., Islam H.M.T.. 2025. Flood Mapping, Damage Assessment, and Susceptibility Zonation in Northeastern Bangladesh in 2022 Using Geospatial Datasets. Progress in Disaster Science, 25: 100402. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2024.100402>.
- Solla D., Acuña-Alonso C., Peco-Costas C., Álvarez X. 2024. Flooding Study of the Loira River (Galicia, Spain): Importance of Pre-Evaluation in Land Management. Cleaner Engineering and Technology, 21: 100769. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100769>.
- Yang Y., Choi H., Lee J., Choe Y., Won J. 2025. Impact of Flow Direction on Suffusion of Sand-Clay Mixtures Under Variably Saturated Conditions. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 17(4): 2511–2525. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.05.038>.

Поступила в редакцию 28.10.2025;

поступила после рецензирования 03.12.2025;

принята к публикации 11.02.2026

Received October 28, 2025;

Revised December 03, 2025;

Accepted February 11, 2026

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ильина Анастасия Андреевна, ассистент кафедры физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

Никонорова Инна Витальевна, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и геоморфологии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anastasiya A. Ilyina, Teaching Assistant at the Department of Physical Geography and Geomorphology, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Inna V. Nikonorova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Geography and Geomorphology, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia