

УДК 556.53:551.58:711.4(282.251.3)

РОЛЬ КЛИМАТА И УРБАНИЗАЦИИ В ДИНАМИКЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ В РЕКЕ АМУР

А. Н. МАХИНОВ ^{1*}, А. Ф. МАХИНОВА ^{1**}, ЛЮ ШУГУАН ^{2***}

¹ *Институт водных и экологических проблем ХФИЦ ДВО РАН, Хабаровск, Россия*

² *Университет Тунцзи, Департамент инженерной гидравлики, Шанхай, КНР*

Показано, что увеличение частоты и интенсивности экстремальных паводков, а также активности русловых процессов связано с глобальным изменением климата и усилением природопользования в бассейне реки Амур. Их влияние способствовало трансформации геохимических циклов микро-элементов в речном стоке. Мутность воды и распределение концентраций тяжелых металлов в поперечном сечении русла определяются морфологическими особенностями русла, близостью источников загрязнения и различной турбулентностью потока в разные фазы водного режима. Выявлено увеличение концентрации тяжелых металлов в верхнем слое донных отложений в межень по сравнению с паводочным периодом. Высокая минерализация воды в русле реки в паводки связана с явлением ресуспензии. Описаны механизмы и взаимосвязь этих событий с водностью реки. Дана характеристика геохимических рядов металлов и особенностей миграционных потоков в русле р. Амур. Установлено, что в распределении загрязняющих веществ основную роль играют русловые процессы и турбулентность потока.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2026.60.2.298>

Keywords: Amur River, climate change, floods, channel processes, pollution sources, heavy metals.

Введение. Принципиально новым и весьма актуальным направлением современной географии является изучение динамики природных процессов в условиях глобальных климатических изменений. В настоящее время имеется большое количество данных об активизации в различных регионах планеты наводнений, эрозии, оползней, размывов морских берегов, селевых, лавинных, ледовых и других процессов и явлений, представляющих опасность для хозяйственной деятельности населения.

Актуальность данного исследования обусловлена особым значением бассейна р. Амур как крупнейшей трансграничной водной системы Восточной

* E-mail: amakhinov@mail.ru

** E-mail: mahinova@ivep.as.khb.ru

*** E-mail: 01008@tongji.edu.cn

Азии, расположенной на стыке различных климатических зон и геополитических интересов. В современных условиях экологическое состояние Амура подвергается двойному воздействию: глобальным климатическим изменениям и интенсивному природопользованию. Потепление климата является основным фактором преобразования речного стока Амура, увеличивающим частоту и интенсивность высоких паводков, активность русловых процессов и загрязнение воды.

Изменения климата оказывают также влияние на миграционную активность микроэлементов и геохимические циклы, определяющие токсикологическую безопасность воды и биологических ресурсов. Тяжелые металлы, обладая высокой токсичностью и способностью к биоаккумуляции, трансформируют химический облик реки, создавая долгосрочные экологические риски.

Особенностью Амура является его специфический гидрологический режим. Периодические катастрофические наводнения последнего десятилетия (2013, 2019, 2020, 2021 гг.) выявили большую роль гидродинамических факторов в распределении загрязнений. Турбулентность руслового потока в периоды высоких паводков активизирует процессы ресурпензии – вторичного поступления в реку накопленных в донных отложениях металлов, превращая русло из зоны аккумуляции в мощный источник загрязнения. Кроме того, деградация многолетней мерзлоты в северной части бассейна Амура меняет естественный геохимический фон, высвобождая металлы, ранее исключенные из глобального круговорота.

Урбанизированные ландшафты в свою очередь формируют специфический “техногенный отпечаток”, где поступающие в реку элементы природного и антропогенного происхождения создают сложные органоминеральные комплексы. Поэтому современное экологическое состояние Амура в условиях активизации русловых процессов под влиянием потепления климата и урбанизации является весьма актуальной проблемой в связи с нарастанием их негативных последствий.

Целью работы является выявление и оценка направленных гидрологических явлений и русловых процессов в нижнем течении р. Амур, комплексный анализ роли климатических факторов и урбанизации в процессах миграции микроэлементов в условиях меняющихся антропогенных и природных факторов.

Материалы и методы исследования. В работе использованы данные экспедиционных исследований после наводнений 2013, 2019–2021 гг. в долине р. Амур на протяжении более 1200 км от впадения р. Сунгари до с. Богородское. Наиболее детальные исследования проводились на широкопойменных участках реки с разветвленным руслом преимущественно в окрестностях крупных городов – Хабаровска, Амурска и Комсомольска-на-Амуре, а также на участках, подверженных особо интенсивным русловым преобразованиям. Высокие скорости размывов берегов р. Амур и формирование пойменно-русловых разветвлений делают задачу изучения геохимических потоков в русле реки исключительно сложной. Элементный состав растворенных форм металлов (Fe, Mn, Cr, Co, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) определяли методом масс-спектрофотометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) (прибор Elan 9000)

по методике ПНДФ 14.1.2:4.135–98 в Центре коллективного пользования ИТИГ ДВО РАН.

Особое внимание уделялось оценке влияния наводнений на перераспределение стока воды между рукавами на разветвленных участках реки в пределах ЕАО, где по фарватеру Амура проходит линия государственной границы с КНР. Исследовались показатели морфометрических характеристик основных и второстепенных рукавов реки, определялись скорости течения и расходы воды, интенсивность размыва берегов и основные характеристики стока наносов. Дана оценка интенсивности аккумуляции и размеров вновь образованных аккумулятивных форм руслового рельефа.

Расходы воды измерялись акустическим доплеровским профилографом Rio-Grande. На многих рукавах среднего течения реки расходы были измерены впервые. Глубины в русле и протоках определялись эхолотом JJ-Connect Fisherman 220 Duo Ice. Скорость размыва берегов Амура определялась сравнением совмещенных планов русла по картографическим данным и космическим снимкам, выполненным в разное время за последние 50 лет.

Оценка влияния урбанизации на гидрологический режим реки и загрязнение воды осуществлялась в районе Хабаровска. Пробы воды отбирались в 10–12 точках в поперечном створе основного русла реки при ее ширине более 1500 м и в 3–5 точках во второстепенных рукавах. Работы проводились на исследовательском судне “Ладога” и катере “Волжанка”, оснащенных оборудованием для гидро-, топографических и геоморфологических исследований.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты выполненных исследований свидетельствуют о ярко выраженных направленных изменениях климата в континентальной части Дальнего Востока [1]. Климатические условия, как и все природные явления, подвергаются постоянным изменениям. Главным индикатором изменения климата является речной сток, так как он четко выражает многолетние изменения температуры воздуха и количества осадков. Изменение климата несомненно имеет большое влияние на водный режим рек и озер [2–4].

Потепление в бассейне среднего и нижнего течений Амура началось в 80-х годах XX века и продолжается до настоящего времени. За период 1981–2000 гг. среднегодовая температура воздуха приземного слоя увеличилась на 0,56°C. Минимальное повышение приземной среднегодовой температуры воздуха в Приамурье отмечается на морском побережье в восточной части бассейна Амура – в Николаевске-на-Амуре на 0,6°C за последние 80 лет. В районе Хабаровска она за это время увеличилась на 1,1°C, что сопоставимо с мировыми показателями (рис. 1). Наиболее интенсивное потепление наблюдается в центральной части Амурского бассейна. Среднегодовая температура воздуха за весь период наблюдений здесь возросла на 2,0–2,2°C.

Пространственные изменения количества атмосферных осадков на территории бассейна Амура имеет более сложное распределение. В пределах верхней части бассейна отмечается уменьшение осадков, в Нижнем Приамурье их увеличение составляет 12,3% относительно средних показателей за весь период наблюдений [5, 6].

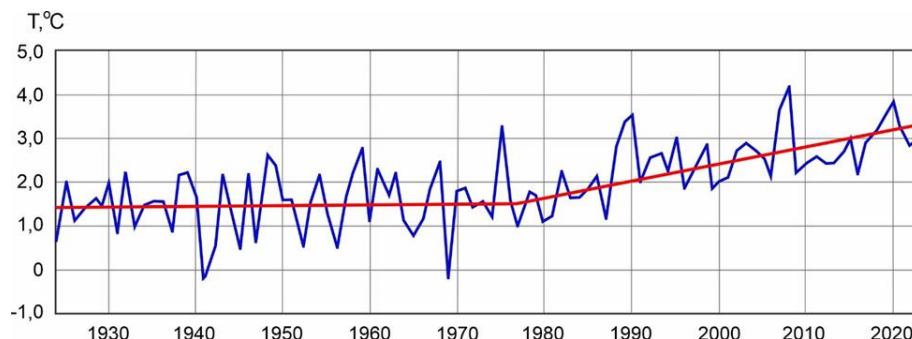


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры воздуха за 1924–2023 гг. по метеостанции г. Хабаровск.

Повышение температуры воздуха в режиме несбалансированных показателей количества атмосферных осадков и испарения в бассейне Амура нарушает гидрологический режим реки и интенсивность переформирования русла, особенно на его динамичных участках. Экстремальные колебания уровней воды в Амуре имеют решающее значение для состояния пойменных экосистем и прибрежных водно-болотных угодий, что представляет опасность для различных видов хозяйственной деятельности.

Водный режим и особенности русловых процессов. Для крупных рек Дальнего Востока установлены выраженная неравномерность многолетнего стока и чередование периодов повышенной и пониженной водности с периодичностью 10–15 лет [7]. Основные их характеристики для района Хабаровска приведены в табл. 1. Пространственные и временные изменения стока Амура влияют на условия формирования высоких паводков, скорость течения, размыв берегов и переформирование русел рек [8]. На максимальный подъем уровня воды в Нижнем Амуре влияет также сток рек Сунгари и Уссури в то время, когда паводковая волна Амура проходит их устье.

Таблица 1

Периоды высокой и низкой водности р. Амур по данным гидрологического поста Хабаровска

№	Период водности	Годы	Наибольший из максимальных уровней воды за период, см	Наименьший из максимальных уровней воды за период, см
1	Высокий	1896–1911	642	315
2	Низкий	1912–1926	572	213
3	Высокий	1927–1938	616	382
4	Низкий	1939–1950	533	333
5	Высокий	1951–1963	634	213
6	Низкий	1964–1980	570	222
7	Высокий	1981–1994	620	330
8	Низкий	1995–2008	524	65
9	Высокий	2009–2023	808	255

Потепление климата оказывают влияние на усиление многолетней неравномерности стока воды и увеличение частоты высоких паводков, во время которых отмечаются исторические значения максимальных уровней

воды. В водном режиме Амура проявляется устойчивая тенденция роста амплитуды колебаний экстремальных уровней воды и увеличения частоты наводнений в последние 15 лет.

Исторически самый низкий максимальный уровень воды в Амуре отмечен в период малой водности в 2008 г., а самый значительный в период высокой водности – в 2013 г. Амплитуда составила 7,43 м, в то время как раньше она никогда не превышала 4,03 м. В этот же период на Амуре впервые за все время наблюдений произошли подряд три катастрофических наводнения (2019–2021 гг.).

Наводнения в последний период высокой водности по сравнению с более ранними периодами стали более частыми, продолжительными и разрушительными. За десять лет (2013–2022 гг.) на Амуре четыре раза происходили очень большие наводнения, причем три из них – в 2013, 2019 и 2021 гг. – оказались наиболее масштабными за все время наблюдений. Они нанесли серьезный ущерб экономике региона и обернулись бедствием для населения.

Большие наводнения в нижнем течении Амура способствовали активизации русловых деформаций особенно в пределах сложных пойменно-русловых разветвлений реки. Установлено, что в катастрофические паводки интенсивно размывались дно и берега в основном русле и крупных рукавах Амура, изменяя их водность в результате перераспределения стока воды. Размыв берегов на протяженных участках, особенно на вогнутых излучинах реки, достигал 15–20 м за один паводок.

Транспорт наносов и преобразование русла. В результате анализа космических снимков и картографических материалов установлен эффект современной активизации русловых переформирований на многих участках русла р. Амур. Нежелательная направленность развития русловых процессов и, прежде всего, перераспределение стока воды по рукавам особенно сильно проявляются в пределах пойменно-русловых разветвлений.

Основным процессом в преобразовании русел является транспорт наносов и их отложения, объемы которых зависят от расходов воды и турбулентности потока [9]. Аллювиальные отложения способствуют образованию аккумулятивных форм руслового рельефа, изменяющих гидравлику водного потока [10]. В результате формируются глубокие плесы, происходит интенсивный размыв берегов и формирование разветвленного русла. В рукавах, куда поступает наибольшее количество наносов, сток воды уменьшается. Такие рукава отмирают, заполняются наносами и превращаются во второстепенные протоки. Напротив, принимающие сток рукава расширяются и углубляются, становятся более полноводными.

Направленная аккумуляция наносов в руслах рек обуславливает развитие разветвленных русел, характеризующихся активизацией русловых процессов, интенсивной аккумуляцией наносов в русле, возникновению и росту осередков, побочней и вдольбереговых отмелей [10–11]. На Амуре эти процессы отличаются масштабностью и высокой активностью.

На участках рек вблизи крупных городов перераспределение стока между рукавами часто приобретает нежелательные последствия. В районе Хабаровска развивающиеся протоки Пемзенская и Бешеная были перекрыты

путем строительства переливных плотин с целью сохранения основного стока реки в главном русле, расположенном непосредственно вдоль береговой черты города. При этом необходимо проводить постоянные мероприятия по поддержанию их устойчивости и укреплению подверженных размыву берегов.

Накопления песчаных наносов в крупных рукавах реки после серии последних больших наводнений привели также к негативным последствиям развития русловых процессов в районе г. Комсомольск-на-Амуре. Здесь вход в левобережную протоку, ведущую к центральной части города, был частично заблокирован обширными осередками, имеющими тенденцию к увеличению размеров во время больших наводнений (рис. 2).

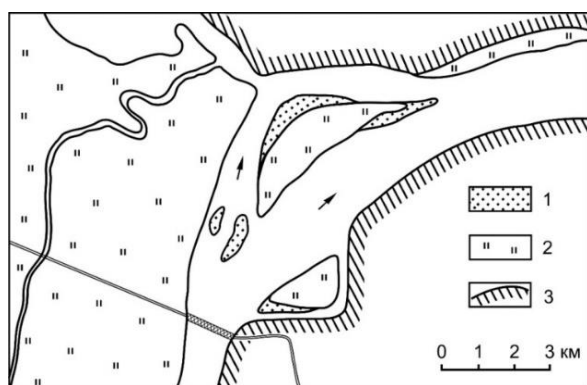


Рис. 2. Заполнение наносами истока второстепенного левого рукава р. Амур в районе г. Комсомольск-на-Амуре после крупных паводков последнего периода высокой водности:

- 1 – участки интенсивной аккумуляции;
- 2 – пойма;
- 3 – коренной берег.

Турбулентный массоперенос химических соединений. Высокая скорость течения и интенсивная турбулентность потока во время паводков сопровождаются ресуспензией, повышенной мутностью воды и загрязнением русла различными химическими веществами. Турбулентные вихри разрушают пограничный слой отложений на границе “вода–дно”, поставляя в поток мелкодисперсные фракции и высвобождая микроэлементы, депонированные в илах (явление ресуспензии). Поступление мелкодисперсных фракций донных отложений в толщу воды способствует переходу металлов в активную миграционную фазу из их консервативного состояния.

Турбулентное перемешивание увеличивает частоту столкновений частиц взвеси с растворенными ионами металлов. В результате сорбции ионы тяжелых металлов и химические соединения загрязняющих веществ “захватываются” частицами глинистых минералов и органическими веществами, гидроксидами железа. В табл. 2 показано, как изменение гидродинамических параметров (турбулентности и ресуспензии) влияют на рост концентраций тяжелых металлов в русле. Концентрации многих элементов нередко превышают ПДК в несколько раз, что соответствует статусу паводка как периода “геохимического шока” для реки.

В высокие паводки из-за больших скоростей течения и турбулентности процессы взмучивания в придонном слое становятся особенно активными. Вихри, поднимая мелкие частицы в толщу воды, увеличивают содержание тяжелых металлов в десятки раз относительно меженного периода и обеспечивают высокую мутность воды в потоке.

Таблица 2

Характеристика загрязнения р. Амур в разные фазы водного режима

Показатель	Содержание в межень, низкая турбулентность	Содержание в паводок, высокая турбулентность	Процессы	Состояние элементов в русле
Взвешенные вещества	30–60 мг/л	400–600 мг/л	ресуспензия	рост концентраций за счет эрозии дна и берегов
Железо (Fe)	350 мкг/л	2500–4000 мкг/л	конвективный перенос	совместный рост с увеличением мутности
Свинец (Pb)	0,8 мкг/л	12–15 мкг/л	сорбция на взвеси	повышенное содержание
Медь (Cu)	3,0 мкг/л	25–30 мкг/л	турбулентная диффузия	повышенное содержание
Цинк (Zn)	1,0 мкг/л	17–25 мкг/л	турбулентная диффузия	повышенное содержание
Никель (Ni)	0,6 мкг/л	11–16 мкг/л	турбулентная диффузия	повышенное содержание

Геохимические ряды и миграционные потоки в русле. Геохимические ряды элементов в водных объектах являются характеристикой фонового качества воды. Концентрации контролируются особенностями процессов гипергенеза в речном бассейне [12, 13]. Геохимический ряд реки Амур определяется наличием железисто-марганцевого пояса и имеет вид: Fe–Mn–Zn–Cu–Pb, где каждый последующий элемент менее активен и присутствует в меньшем количестве [14]. Массообмен и физический перенос химических соединений водными массами образуют миграционные потоки, характеризующиеся направлением, интенсивностью и объемом [15]. Миграционные потоки обеспечивают 85–95% химического стока в русле Амура. Физический перенос химических элементов водными массами растворенных форм соединений в результате сорбции химических соединений на органических микрочастицах в общей массе химического стока составляют менее 10%, однако они играют не менее важную роль в процессе обмена и загрязнения русла и поймы.

В районе Хабаровска водный поток Амура имеет неоднородное строение в поперечном сечении русла. Здесь соединяются разные миграционные потоки воды: поступающие из р. Усури вдоль правого берега Амура, из Сунгари посередине русла и собственно амурского у левого берега [16]. Сунгарийский поток несет много органики, нефтепродуктов и пестицидов, а также промышленных, сельскохозяйственных и бытовых городских недостаточно очищенных стоков [17]. Левобережный вдольбереговой поток р. Амур менее загрязнен и характеризуется преобладанием природных гуминовых веществ и железа (табл. 3).

На участке слияния вод Амура и Усури происходит особенно резкое изменение мутности воды. Чистые уссурийские воды протягиваются в русле Амура на протяжении более 200 км и постепенно полностью перемешиваются. Во второстепенных рукавах реки скорости течения существенно меньшие, что обуславливает выпадение части взвешенных веществ, в результате чего в донных отложениях накапливаются тяжелые металлы. В этом случае

миграционный поток замедляется, а концентрация металлов в донных отложениях проток в десятки раз превышает фоновые значения в основном русле, образуя своеобразные “донные ловушки”.

Таблица 3

Распределение концентраций металлов (мкг/дм³) в поперечном сечении русла р. Амур ниже Хабаровска в период наводнения 2021 г.

№	М	pH	BB	Fe	Mn	Al	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Cd	Pb
1	135	6,71	271,0	349,94	43,13	362,5	1,44	0,09	7,23	5,80	47,98	0,02	0,31
2	445	6,84	180,0	324,83	12,50	316,7	1,79	0,08	5,15	3,82	24,69	0,05	0,55
3	880	6,85	188,0	317,11	5,32	82,51	1,31	0,07	4,46	2,13	17,33	0,02	0,16
4	1190	7,00	101,0	301,73	6,20	229,3	1,17	0,11	3,29	3,05	13,40	0,02	0,33
5	1270	7,05	146,0	277,02	4,01	117,21	0,81	0,08	3,76	3,13	25,50	0,02	0,61
6	1350	7,10	146,0	265,56	4,33	75,77	0,62	0,06	4,32	2,18	13,68	0,02	0,30
7	1500	7,08	161,0	244,31	4,21	188,3	1,03	0,09	5,35	2,92	5,59	0,03	0,19
8	1590	7,10	128,0	237,26	5,38	84,75	1,21	0,07	7,24	4,52	25,88	0,01	0,72
9	1650	7,11	130,0	229,14	9,11	180,4	1,67	0,09	11,87	2,51	8,04	0,01	0,99
10	1700	7,14	144,0	213,88	9,79	108,3	1,39	0,15	10,70	6,01	33,43	0,01	1,45
11	1850	7,15	124,0	224,42	15,82	135,9	1,90	0,16	13,46	9,06	105,4	0,05	2,19

Примечание: М – расстояние от уреза левого берега, м; BB – содержание взвешенных веществ, мг/дм³.

Важнейшей экологической проблемой остается состояние качества водных ресурсов р. Амур, формируемое как на территориях Китая, так и на российской части бассейна. Загрязнение воды происходит в условиях активного промышленного развития и сельскохозяйственного освоения новых, в том числе пойменных земель. Однако в нижнем течении Амура значительная доля загрязнений приходится на трансграничный перенос с китайской стороны.

Загрязняющие вещества мигрируют, накапливаются в донных и пойменных отложениях, аккумулируются биообъектами (в том числе рыбой) и в отдельных случаях трансформируются до токсичных продуктов. Большие масштабы загрязнения воды представляют значительную угрозу не только водной экосистеме среднего и нижнего течений р. Амур на протяжении более 1200 км, но и оказывают негативное влияние на состояние прибрежных экосистем Японского и Охотского морей.

В результате климатических изменений на Амуре также отчетливо проявляется многолетнее увеличение средней температуры воды за летний период, что несомненно способствует повышению растворимости загрязняющих веществ и ухудшению качества водных ресурсов.

Заключение. Глобальное потепление способствует увеличению водности Амура, делает паводки более мощными и продолжительными, активизирует динамику русловых процессов. Интенсивный размыв берегов обуславливается развитием разветвленного многорукавного русла и перераспределением стока воды между рукавами. Пойменные острова остаются уязвимыми к значительным деформациям, что отмечалось в паводки 2013, 2019 и 2021 гг., во время

которых происходили интенсивный размыв берегов и смещение береговой линии на 10–50 м за сезон.

Геохимическая специфика Амура обусловлена современным химическим составом вод, формируемым под влиянием аномально высокого природного фона железа и марганца, что обусловлено высокой заболоченностью водосбора и гумификацией стока. В этих условиях антропогенное загрязнение накладывается на уже нагруженную природную систему, снижая ее ассимиляционную емкость. Река Сунгари остается основным поставщиком техногенных микроэлементов в Амур. Урбанизация (Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре) способствует локальному накоплению свинца и кадмия в донных отложениях прибрежных городских территорий, формируя зоны потенциального вторичного загрязнения.

Распределение загрязняющих веществ в поперечном сечении р. Амур связаны не только с антропогенным загрязнением реки, но и с особенностями перемешивания воды в широком русле и заболоченностью поймы. Существенным фактором является также интенсивный размыв берегов и дна реки во время прохождения больших паводков, при которых существенно увеличивается концентрация загрязняющих веществ в реке и их перенос русловым водным потоком.

Глобальное климатическое потепление выступает катализатором мобилизации микроэлементов в руслах рек. Деграция криолитозоны в бассейне Амура приводит к выносу в речную сеть “законсервированных” металлов и растворенного органического углерода, которые повышают мобильность ряда токсичных форм тяжелых металлов, прежде всего ртути и меди.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по федеральному проекту № 126031118637-5 (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, обособленное подразделение Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН).

Поступила 01.06.2026

Получена с рецензии 15.06.2026

Утверждена 26.08.2026

ЛИТЕРАТУРА

1. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет. *Метеорология и гидрология* 2 (2007), 43–53.
2. Margaryan V.G. Long-term Fluctuations in the Annual Runoff of Rivers Flowing into Lake Sevan under the Current Climate Change. *Ukrainian Geographical Journal* 4 (2021), 30–38.
3. Margaryan V.G., Tsibul'skii Gy, Raevich K. Dynamics of Changes in Long-Term Average Annual River Runoff in the Lake Sevan Basin. *E3S Web of Conferences “Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2019)”* 149 (2020), id. 03009.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014903009>
4. Мисакян А.Э., Аракелян А.А., и др. Оценка уязвимости максимальных расходов воды реки Агстев в условиях изменения климата. *Ученые записки ЕГУ. Геол. и геогр.* 56 (2022), 25–36.
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C.2022.56.1.025>

5. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Климатические изменения в бассейне Амура и их влияние на экосистемы. *Экосистемы: экология и динамика* 2 (2018), 5–60.
6. Новороцкий П.В. Современные климатические изменения в бассейне Амура и на побережье Японского моря. *Известия РГО* 14 (2011), 41–48.
7. Махинов А.Н., Ким В.И. Влияние изменений климата на гидрологический режим реки Амур. *Тихоокеанская география* 1 (2020), 30–39.
8. Махинов А.Н., Liu Shuguang. *Формирование рельефа русел и берегов рек*. Хабаровск, ДВО РАН (2013), 174.
9. Алексеевский Н.И. *Формирование и движение речных наносов*. Москва, изд-во Моск. ун-та (1998), 203.
10. Махинов А.Н. *Современное рельефообразование в условиях аллювиальной аккумуляции*. Владивосток, Дальнаука (2006), 232.
11. *Large Rivers: Geomorphology and Management* (ed. Avijit Gupta). Chichester, England, John Wiley & Sons Ltd (2007), 689.
12. Касимов Н.С., Глазковская М.А., Перельман А.И. Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга. *Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды*. Москва, Наука (1989), 8–25.
13. Труфанов А.И. О миграции железа и марганца в зоне гипергенеза юга Дальнего Востока. Природные воды юга Дальнего Востока. Хабаровск: ХабКНИИ. *Вопросы географии Дальнего Востока* 15 (1975), 147–154.
14. Makhinova A.F., Makhinov A.N., et al. Geochemical Differentiation of Soil in the Amur Basin (Russian Part). *Journal of Geochemical Exploration* 45 (2013), 89–98.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.06.011>
15. Чудаева В.А. *Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока*. Владивосток, Дальнаука (2002), 392.
16. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Влияние катастрофического наводнения на гидрохимический режим Среднего и Нижнего Амура. *Метеорология и гидрология* 9 (2021), 102–111.
17. Zhang Y. Impact of Climate Change and Human Activities on Water Quality in the Songhua-Amur River Basin. *Environmental Earth Sciences* 82 (2023), 115–129.

Ա. Ն. ՄԱԽԻՆՈՎ, Ա. Ֆ. ՄԱԽԻՆՈՎԱ, ԼՅՈՒ ՇՈՒԳՈՒԱՆ

ԿԼԻՄԱՅԻ ԵՎ ՔԱՂԱՔԱՇԻՆՈՒԹՅԱՆ ԴԵՐԸ
ԱՍՈՒՐ ԳԵՏԻ ՀՈՒՆԱՅԻՆ ԳՈՐԾՐՆԹԱՑՆԵՐԻ
ԵՎ ԳԵՈՔԻՄԻԱԿԱՆ ՀՈՍՔԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՅՈՒՄ

Ամփոփում

Ցույց է տրվել, որ ծայրահեղ ջրհեղեղների հաճախականության և ինտենսիվության աճը, ինչպես նաև գետային հունի գործընթացների ակտիվությունը կապված են գլոբալ կլիմայի փոփոխության և Ամուր գետի ավազանում շրջակա միջավայրի կառավարման բարելավման հետ: Դրանց ազդեցությունը նպաստել է գետի հոսքում միկրոտարրերի երկրաքիմիական ցիկլերի վերափոխմանը: Ջրի պոտորությունը և ծանր մետաղների կոնցենտրացիաների բաշխումը գետի հունի լայնական կտրվածքում որոշվում են ջրանցքի ձևաբանական առանձնահատկություններով, աղտոտման աղբյուրների մոտիկությամբ և ջրային ռեժիմի տարբեր փուլերում հոսքի տատանողականությամբ: Ծանր մետաղների կոնցենտրացիաների աճ է հայտնաբերվել ստորին նստվածքների վերին շերտում՝ ջրհեղեղի շրջանի համեմատ: Ջրհեղեղների ժամանակ գետի հունում ջրի բարձր հանքայնացումը կապված է վերակուլտուրայի

երևույթի հետ: Նկարագրվում են այդ իրադարձությունների մեխանիզմները և կապը գետի ջրի պարունակության հետ: Բնութագրվում են մետաղների երկրաքիմիական շարքերը և Ամուր գետի հունում միգրացիոն հոսքերի բնութագրերը: Հաստատված է, որ ջրանցքի գործընթացները և հոսքի տուրբուլենտությունը առաջնային դեր են խաղում աղտոտիչների բաշխման մեջ:

A. N. MAKHINOV, A. F. MAKHINOVA, LIU SHUGUANG

THE ROLE OF CLIMATE AND URBANIZATION IN THE DYNAMICS
OF CHANNEL PROCESSES AND GEOCHEMICAL FLOWS
IN THE AMUR RIVER

Summary

It is shown that the increase in the frequency and intensity of extreme floods, as well as the activity of riverbed processes, are associated with global climate change and increased environmental management in the Amur River basin. Their influence has contributed to the transformation of geochemical cycles of trace elements in river runoff. Water turbidity and the distribution of heavy metal concentrations in the riverbed cross-section are determined by the morphological features of the channel, the proximity of pollution sources, and varying flow turbulence during different phases of the water regime. An increase in heavy metal concentrations in the upper layer of bottom sediments was revealed during the low-water period compared to the flood period. High water mineralization in the riverbed during floods is associated with the phenomenon of resuspension. The mechanisms and the relationship of these events with river water content are described. Geochemical series of metals and the characteristics of migration flows in the Amur River channel are characterized. It is established that channel processes and flow turbulence play a primary role in the distribution of pollutants.