

Научная статья

УДК 504.453

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-30-54

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ РЕЧНОГО СТОКА ДВУХ ВОДОСБОРОВ-АНАЛОГОВ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА

Куракова А. А.¹, Медведков А. А.²

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация;
E-mail: a.a.kurakova@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0234-6454

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Российская Федерация;
Институт географии РАН,
119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4., Российская Федерация;
E-mail: a-medvedkov@bk.ru; ORCID: 0000-0002-7242-7172

Поступила в редакцию 27.11.2023

После доработки 20.12.2024

Принята к публикации 17.01.2024

Аннотация

Цель. Рассмотрена трансформация речного стока (сравнивались два периода 1959–1980-е и 2008–2016 гг.) на примере двух аналоговых по площадным характеристикам и природно-ландшафтным условиям водосборов рек Ницы и Пышмы – правых притоков р. Туры (бассейн р. Оби). Данные водосборные территории отличаются только по степени антропогенной преобразованности, что позволяет их рассматривать в качестве интересных объектов для сравнительного анализа.

Процедура и методы. В качестве первичных гидрологических данных были отобраны средние значения ежемесячных расходов воды, максимальные и минимальные расходы воды. В увязке с динамикой гидрологических характеристик рассмотрены тенденции изменения климата, показан их вклад в формирование стока рек Ницы и Пышмы. Установлено, что динамика климата на данном этапе не вносит существенного вклада в изменение структуры жидкого стока рассматриваемых рек. Оценены тенденции абииотизации ландшафтов в двух исследуемых водосборах на основе анализа динамики землепользования, расчёта скорости изменения площади антропогенных объектов и степени фрагментации территории бассейновой суши искусственными рубежами. Выявлено, что наиболее трансформированным водосбором является речной водосбор.

Результаты. Выявлено, что наиболее преобразованным является водосбор р. Ницы (78% антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов и 14% нефрагментированной территории в сравнении с 58% и 20% в пределах водосбора р. Пышмы соответственно). Оценено влияние антропогенной трансформации ландшафтов (в форме усиления абииотизации территории водосбора за счёт увеличения в его пределах площади антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов и её фрагментации площадными антропогенными объектами и линейными техногенны-

ми рубежами) на изменение объёмов стока воды двух рек. Увеличивающаяся степень абиотизации и фрагментации территории водосборов способствует большему отклику р. Ницы на климатические изменения, что наблюдается в форме возрастания роли весеннего половодья и увеличения риска неблагоприятных гидрологических явлений.

Теоретическая и/или практическая значимость. Используемый подход, базирующийся на оценке фрагментации бассейновых ландшафтов, представляет интерес для прогнозирования колебания речного стока и изучения механизмов транспортировки загрязняющих веществ со стоком воды и наносов в условиях потепления климата и роста его нестабильности. В заключении предложено оценивать экологическое состояние водосборов по сумме параметров: запасов фитомассы в динамике, степени фрагментации территории площадными и линейными объектами антропогенного (в т. ч. техногенного) происхождения и тенденции её изменения, динамики поверхностной и подземной составляющих стока, изменения доли весеннего половодья и летне-осенних паводков в структуре речного стока, динамики речного стока за гидрологические фазы, наличия и повторяемости катастрофических гидрологических явлений (аномально высоких половодий, наводнений, обмелений реки и т. д.).

Ключевые слова: годовой и сезонный сток, динамика землепользования, изменение климата, речной бассейн, трансформация ландшафтов

Благодарности. Оценка ландшафтно-экологических трансформаций на водосборных территориях рассматриваемых рек выполнена в рамках Государственного задания кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды» (№ 121040100322-8), а анализ изменений речного стока двух водотоков выполнен в рамках Государственного задания научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н. И. Маккавеева географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова «Гидрология, морфодинамика и геоэкология эрозионно-русловых систем» (№ 121051100166-4).

Original Research Article

INFLUENCE OF LANDSCAPE-ECOLOGICAL CHANGES ON RIVER FLOW TRANSFORMATION OF TWO ANALOGUES DRAINS IN THE SOUTHWESTERN PART OF THE OB-IRTYSH BASIN

A. Kurakova¹, A. Medvedkov²

¹ Lomonosov Moscow State University,
Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation;
E-mail: a.a.kurakova@mail.ru; ODCID: 0000-0003-0234-6454

² Lomonosov Moscow State University,
Leninskiye Gory 1, Moscow 119991, Russian Federation;
Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
119017, Staromonetnyy lane. 29, Moscow, Russian Federation;
E-mail: a-medvedkov@bk.ru; ODCID: 0000-0002-7242-7172

Received 27.11.2023

Revised 20.12.2024

Accepted 17.01.2024

Abstract

Aim. The transformation of water runoff (for the period from 1959–1980 to 2016) is considered on the example of two analogous catchments of the Nitsa and Pyshma rivers (the right tributaries of the Tura river) in terms of area characteristics and natural landscape conditions. Ob). These catchment areas differ only in the degree of anthropogenic transformation, which allows them to be considered as interesting objects for comparative analysis.

Procedure and methods. The average values of monthly water consumption, maximum and minimum water consumption were selected as primary hydrological data. In conjunction with the dynamics of hydrological parameters, climate change trends are also considered, and their contribution to the formation of the runoff of the Nitsa and Pyshma rivers is shown. It was found that climate dynamics at this stage does not significantly contribute to changes in the structure of the liquid flow of the rivers under consideration. The trends of landscape abioticization in the two studied catchments are estimated based on the analysis of land use dynamics, calculation of the rate of change in the area of anthropogenic objects and the degree of fragmentation of the basin land area by artificial boundaries. It is revealed that the most transformed catchment is the river catchment area.

Results. Nitsa (78% of anthropogenic-modified and technogenic-transformed landscapes and 14% of non-fragmented territory, compared to 58% and 20% within the Pyshma river catchment area, respectively). The influence of anthropogenic transformation of landscapes (in the form of increased abioticization of the catchment area and its fragmentation) on the change in the structure of the liquid flow of two rivers is estimated. Increasing the degree of abioticization and fragmentation of the catchment contributes to greater response of Nitsa river on the climate change that is observed in the form of increasing the role of spring floods and increased flood risk.

Research implications. It seems that this approach is of interest for predicting fluctuations in river flow in conditions of increasing climate instability. In conclusion, a set of indicators for assessing the ecological state of watersheds is proposed.

In conclusion, it is proposed to assess the ecological state of catchments by the sum of parameters: phytomass reserves in dynamics, the degree of fragmentation of the territory by area and linear objects of anthropogenic (including technogenic) origin and its change trends, and its change trends, dynamics of surface and underground runoff components, change in the share of spring floods and summer-autumn floods in the river runoff structure, dynamics of river runoff during hydrological phases, presence and recurrence of catastrophic hydrological events (abnormally high floods, floods, river shallowing, etc.).

Keywords: annual and seasonal water runoff, land use dynamic, climate change, river basin, landscape transformation

Aknowledgments. Assessment of landscape-ecological transformations in the catchment areas of the rivers under consideration was carried out within the framework of the State Assignment of the Department of Physical Geography of the World and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University "Analysis of regional geoecological problems in the context of global environmental changes" (No. 121040100322-8), and analysis of changes in river flow of two watercourses was carried out within the framework of the State Assignment of the Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes named after N. I. Makkaveev of the Geographical Institute of the Russian Academy of Sciences.

Введение

В речных бассейнах, приуроченных преимущественно к гумидным и семи-гумидным районам материков, сосредоточено подавляющее большинство запасов фитомассы земной суши с её ощутимой планетарной средоформирующей и средозащитной ролью. Такие области с хорошо развитым растительным покровом отнесены Ж. Трикаром и А. Кайе [34], классиками климатической геоморфологии, к областям «густой биосферы», тогда как семиаридные и аридные территории (т. н. «разреженная биосфера») и районы «голой биосферы» (нивальнотропические геосистемы) обладают пониженным потенциалом гомеостатических (т. е. средообразующих экосистемных) функций, представляющими по существу разные модели влагооборота. Данное обстоятельство представляется чрезвычайно важным, учитывая, что сток в значительной степени регулируется живым веществом в ходе функционирования системы «растительность – почва – зона активного водообмена» [5]. При этом на территорию речных бассейнов приходится и основная антропогенная нагрузка в пределах земной суши, что выражается в дальнейшей абиотизации бассейновых ландшафтов и учащении стихийных бедствий, имеющих преимущественно геофизическую природу. В связи с этим чрезвычайно актуальным становится дальнейшее развитие ландшафтно-геоэкологических исследований в пределах бассейновой суши. Безусловно, важным фактором, который необходимо сегодня учитывать, является изменение климата.

Особое значение данные о климатических изменениях имеют для наибо-

лее фрагментированных ландшафтно-бассейновых структур с возмущённой биотой и её пониженной средозащитной ролью.

Состояние растительного покрова – важнейший фактор задержания воды и формирования поверхностного стока. Известно, что при замещении лесной растительности открытыми биотопами с травяными сообществами, интенсивность эрозии возрастает почти на 3 порядка [23], что, безусловно, отражается на стоке наносов, качестве воды и динамичности русловых процессов. Наряду с этим для бассейновых геосистем лесные ландшафты имеют важное значение и как регуляторы теплового баланса подстилающей поверхности. Это выражается в значительном преобладании идущего от залесенных частей бассейново-речной суши потока скрытого тепла (теплоты испарения) над турбулентным потоком явного тепла.

Таким образом, в этом качестве лесные геосистемы выступают как эффективные средообразующие регуляторы, смягчающие климат на основе больших затрат на испарение поглощённой инсоляции, а в определённых случаях и адвективного тепла [25], что положительно сказывается на регулировании не только мезоклимата, но и речного стока. Использование тепловых инфракрасных снимков позволяет сравнивать разные типы леса по интенсивности их теплообмена с приземной атмосферой. Данный метод позволяет получать наиболее информативные результаты в контрастных лесорастительных условиях [26].

Для понимания водорегулирующей функции леса большое значение имеет классическая работа О. И. Крестовско-

го [19]. Им на примере лесов южной тайги установлено, что при сплошной рубке транспирационная составляющая испарения существенно ослабляется. И на этот период суммарное испарение (т. е. поток скрытого тепла) снижается на 20–40%. В результате ухудшается режим стока: в половодье объёмы жидкого стока увеличиваются, а в межень реки мелеют, снижаются значения расходов воды в сравнении с периодом до сведения леса, несмотря на практически полную ликвидацию его насосной (транспирационной) функции.

В работах по лесной гидрологии [13] выявлена «цена» класса бонитета в величине транспирации от общего испарения. Это важно в контексте рассматриваемой проблемы, поскольку в суммарном испарении основная роль принадлежит транспирационному расходу, величина которого зависит от массы транспирационного аппарата (т. е. запасов фитомассы). Указанные обстоятельства позволяют судить о тесных стокоформирующих связях между состоянием бассейновых ландшафтов и их продукционными характеристиками, с одной стороны, и режимом стока рек – с другой. Хорошо известно, что чем выше биологическая продуктивность ландшафта, тем более значительная часть циркулирующей в нём воды вовлекается во внутренний влагооборот и используется для создания фитомассы [11], а дальнейший прирост фитомассы сопровождается возвратом в приземный слой воздуха значительной части атмосферных осадков [7]. В этом заключается не только климаторегулирующая роль биоты, но и её гидрологическая (водорегулирующая) функция, на эффек-

тивность которой также влияет состояние напочвенного покрова и его структура. Именно поэтому бассейновые геосистемы с возмущённой (фрагментированной или разреженной) биотой оказываются более уязвимыми к экстремальным погодным явлениям (ураганам, тепловым стрессам и др.) и характеризуются значительными амплитудами стока воды.

Указанное обстоятельство необходимо учитывать при прогнозировании гидрологических рисков. В этой связи представляется, что управление риском опасных гидрологических явлений в условиях климатических изменений должно в значительной степени базироваться на анализе современной ландшафтной структуры речных водосборов. На наш взгляд, данный подход является основой для оценки экологического состояния водосборов. Это обусловлено тем, что ускоренные темпы абиотизации и фрагментации стокоформирующих ландшафтов приводят не только к изменению условий формирования разных видов стока [1; 6; 15; 23], но и к трансформации характеристик диффузного загрязнения, влияя на качество воды поверхностных водоёмов [41].

Цель данной работы – выявить роль антропогенной трансформации ландшафтов в изменении стока воды на примере рассмотрения двух водосборов-аналогов.

Таким образом, речные бассейны и сегодня выступают в качестве классических объектов для их комплексного изучения в геосистемном русле, представляя собой динамическую целостность и результат интеграции биоты и геомы высокой степени целостности. Концепция обособления речных

бассейнов как особых природно-территориальных комплексов получила развитие в работах И. А. Титова [33], М. А. Глазовской [3], А. Ю. Ретеюма [31], Ф. Н. Милькова [27], С. П. Горшкова [6; 8], О. В. Крестовского [19], Н. И. Коронкевича [15; 16; 17], Ю. Г. Симонова [32], Н. И. Алексеевского [1], Л. М. Коротного [18] и др., а за рубежом широко известны исследования Ж. Трикара и А. Каёе [34], Г. Уайта [35] и других исследователей [44; 45; 46; 49]. Используемый в их работах комплексный бассейновый подход позволяет не только учитывать все составляющие такой сложной природно-хозяйственной системы, но и связывать между собой экономические, социальные, политические и природоохранные интересы, а также разрабатывать мероприятия по предотвращению и управлению негативными последствиями при освоении речных систем и водораздельных пространств.

Для речных бассейнов лесной зоны важнейшее значение представляет состояние древесной растительности, участвующей в формировании речного стока.

Отметим, что в настоящей работе речной сток рассматривается в контексте своего основного компонента – стока воды. Так, отмечается, что после вырубki леса поверхностный сток с водораздельной территории за год может возрасти до 60%, а в меженный период ещё больше – до 80%, но спустя 30 лет наблюдается его резкое снижение в 2 раза [24; 37; 39]. Со временем, когда лес достигает спелого состояния в 100 лет, величина поверхностного стока воды снова возрастает, достигая своих значений как до вырубki [19]. Рубки леса также могут оказывать влия-

ние на подземный сток, сокращая его вследствие нарушения функции «перевода» лесами поверхностного стока в подземный.

Другие антропогенные факторы, такие, как агротехнические и мелиоративные мероприятия, динамика землепользования, также приводят к изменению гидрологического режима рек. Так, сельскохозяйственная деятельность в основном приводит к сокращению стока (по разным оценкам от 40 до 10%) [12; 40]. Осушение болот, наоборот, улучшает условия формирования стока с поверхности суши, но приводит к значительному сокращению запасов грунтовых вод [40]. Динамика землепользования как результирующая антропогенного воздействия в бассейне реки оказывает серьёзное воздействие на водный режим, приводя к увеличению или сокращению стока, что в обоих случаях может вызывать неблагоприятные последствия [15; 16; 17; 18; 44; 45; 46; 49].

Более сложно поддаются изучению природно-антропогенные связи на средних и больших реках, в отличие от малых водотоков, характеризующихся более выразительной чувствительностью к абиотизации бассейновой суши. Таким образом, реки меньшего размера – это наиболее уязвимая часть речной системы [4]. К средним (с площадью бассейна от 2000 до 50000 км²) относится р. Тура и её притоки (рр. Ница и Пышма), расположенные в юго-западной части Обь-Иртышского бассейна на территории Свердловской и Тюменской областей (рис. 1).

Река Пышма является самым длинным и крупным притоком р. Туры (её длина – 603 км, площадь бассейна – 19 700 км²), а р. Ница имеет самый

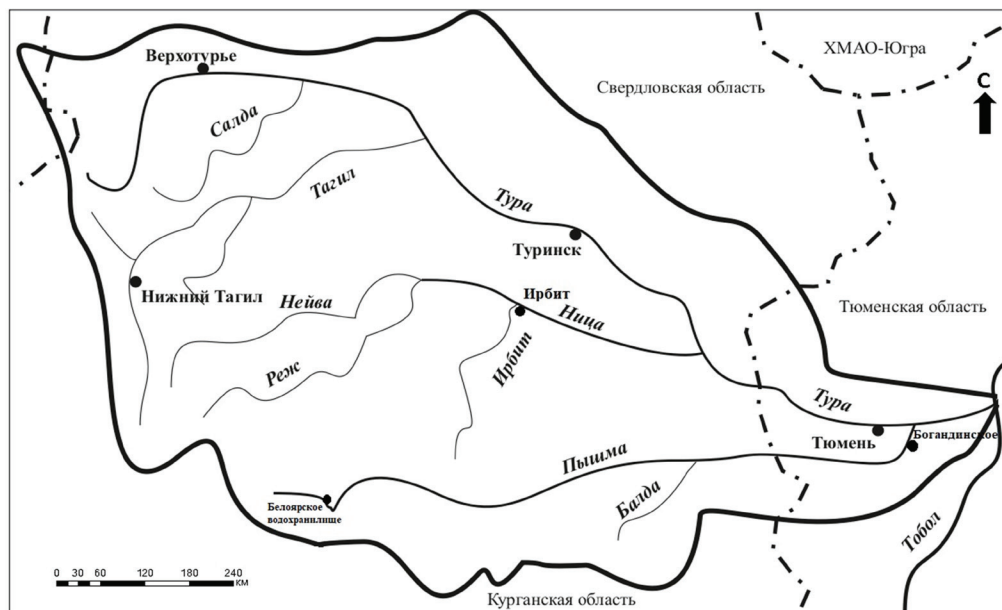


Рис. 1 / Fig. 1. Положение рек Пышмы и Ницы в бассейне р. Туры / The position of the Pyshma and Nitsa rivers in the Tura river basin

Источник: данные авторов

крупный по площади бассейн – 22 300 км², длина реки – 262 км. Среднегодовые расходы рек Пышмы и Ницы равны 39 м³/с и 43 м³/с соответственно. Реки относятся к типу с достаточно высоким и растянутым весенним половодьем, летней меженью и периодически повышенным летне-осенним уровнем из-за дождевых паводков. В зимний период на реках устанавливается межень, и питание рек происходит преимущественно за счёт подземных вод [29].

В пределах бассейнов рр. Ницы и Пышмы широко распространены сельскохозяйственные угодья (представлены преимущественно пашнями), лесохозяйственные и урбанизированные территории и сопутствующая им инфраструктура, а также очаги недропользования в виде добычи торфа, асбеста и других полезных ископаемых.

Плотность населения, рассчитанная авторами на 2019 г., в пределах бассейна р. Пышмы составляет 19 чел./км², тогда как для р. Ницы она составляет 22 чел./км².

Данные реки были выбраны в качестве аналогов потому, что они характеризуются близкими гидрологическими характеристиками, а территории их водосборов отличаются схожими природно-географическими условиями и площадными характеристиками, но отличаются по степени антропогенной трансформации. Обозначенные свойства позволяют рассматривать рр. Ницу и Пышму в качестве интересных объектов для сравнительного изучения (табл. 1). Поэтому данное исследование основывалось на методике географо-гидрологического сравнения 2 аналоговых речных бассейнов, описанной в работах Н. И. Коронкевича и др. [15; 16].

Таблица 1 / Table 1

Сравнительный анализ двух водосборов-аналогов / Comparative analysis of two analogous catchments

Параметр сравнения	р. Ница и её водосбор	р. Пышма и её водосбор
F , км ²	22300	19700
L , км	262 (с р. Нейвой – 556)	603
I , ‰	0,5	0,4
$I_{\text{бас}}$, ‰	0,3	0,2
$h_{\text{ср}}$, м	163	138
$f_{\text{оз}}$, %	1	–
$f_{\text{б}}$, %	12	10
$f_{\text{л}}$, %	50	40
D , км/км ²	0,23	0,20
Q , м ³ /с	43	39
W , км ³	1,4	1,2
Тип водного режима (по Б. Д. Зайкову)	Западно-Сибирский	
Геоморфологические условия	низкие отроги Урала, Туринская равнина	
Состав поверхностных отложений	Верхние части бассейнов сложены трудноразмываемыми элювиально-делювиальными и делювиальными глинами и суглинками; Нижние части бассейнов сложены легкоразмываемыми лессовидными суглинками, супесями и песками	
Тип русловых процессов (по Р. С. Чалову [38])	Равнинный	
Морфодинамический тип русел рек (по Р. С. Чалову [38])	Меандрирующие реки	
Современные ландшафты	Верхние части бассейнов – сосновые леса с примесью хвойных и мелколиственных пород на дерново-подзоли- стых и серых лесных почвах; Нижние части бассейнов – сельскохозяйственные угодья в областях развития черноземов оподзоленных и выщелоченных и лугово-черноземных почв	
Доля экологически неблаго- получных земель (антропо- генно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов)	78%	58%
Плотность населения, чел/км ²	22	19

Условные обозначения:

F , км² – площадь бассейна; $h_{\text{ср}}$, м – средняя высота бассейна; D , км/км² – густота речной сети;
 L , км – длина реки; $f_{\text{оз}}$, % – озерность; Q , м³/с – расход воды;
 I , ‰ – уклон реки; $f_{\text{б}}$, % – заболоченность; W , км³ – объем стока
 $I_{\text{бас}}$, ‰ – уклон бассейна; $f_{\text{л}}$, % – залесенность;

Источник: составлено по [9; 36]

Гидрометеорологическая информация (расходы воды, температура воздуха и количество осадков за год и за гидрологические сезоны) была обработана с помощью методов статистического анализа в программе МО Excel согласно рекомендациям стандарта Государственного гидрологического института 52.08.41-2017¹ [33]. Для каждого исследуемого года/периода (р. Пышма – 1959, 1969, 1981–1986, 1989, 2008–2016 гг.; р. Ница – 1959, 1981–1986, 1989, 2008–2016 гг.) был построен гидрограф, который далее расчленялся по методу Б. П. Полякова. Исходя из этого, были получены объёмы стока, получаемые за счёт грунтового (подземная составляющая), снегового и дождевого (поверхностная составляющая) питания.

Исследование динамики речного стока Пышмы и Ницы проводилось с 1890-х по 2016 гг. Дополнительно были выделены ключевые периоды: 1980-е гг. и современный период (2008–2016 гг.). Это связано с тем, что имелись данные о ежедневных расходах воды, а также с середины 1980-х гг. были доступны снимки данной территории из космоса, а за современный период (с 2008 г.) данные о расходах воды появились в открытом доступе.

Картографирование современной ландшафтной структуры двух водосборов-аналогов и расчёт фрагментации их территорий производились на основе анализа опубликованных картографических материалов, литературных источников и актуальных данных дис-

танционного зондирования Земли (космоснимки Landsat 5 MSS за 1984 г. для бассейна р. Пышмы и 1985 г. – для бассейна р. Ницы, Landsat 7 ETM+ за 2008 г. для бассейнов рр. Ницы и Пышмы и Landsat 7 ETM+ за 2016 г. для бассейнов рр. Ницы и Пышмы), обработанных с применением ГИС-технологий.

Расчёт скорости изменения площади антропогенных объектов (r) производился по методике, предложенной в работах Дж.-П. Пуйраво [47] и Р. Эрасо и др. [48]. Она заключается в том, что за ключевые года (1980-е гг., 2008 и 2016 гг.) рассчитываются площади антропогенно-изменённых территорий (сельскохозяйственных угодий, лесохозяйственных участков, техногенных объектов) и сравниваются их площади по формуле 1. Это позволяет рассчитать скорости изменения:

$$r = \frac{1}{t_1 - t_2} * \ln \left(\frac{A_2}{A_1} \right) * 100 \quad (1)$$

где:

A_1 и A_2 – площади каждого класса объектов в начале (t_1) и в конце (t_2) рассматриваемого периода.

Наряду с этим была выявлена степень фрагментации территории рассматриваемых бассейнов искусственными рубежами (площадными и линейными объектами), нарушающих естественный режим поверхностного стока. Поэтому в данном контексте под фрагментацией понимается процесс трансформации геосистемного покрова из более крупных по площади природно-территориальных комплексов в менее крупные и изолированные рукотворными объектами (искусственными рубежами), которые относятся к категории антропогенно-модифици-

¹ СТО ГГИ 52.08.41-2017 Основные гидрологические характеристики при нестационарности временных рядов, обусловленной влиянием климатических факторов. Рекомендации по расчёту. Санкт-Петербург: ФГБУ ГГИ, 2017. 46 с.

рованных (пахотные, пастбищные, лесохозяйственные и др.) и техногенных (урбанизированные, индустриальные, транспортные и др.) ландшафтов. Таким образом, по мере развития процесса фрагментации формируется водосборное пространство, оказывающее всё более разделённым антропогенно-модифицированными и техногенными объектами, что снижает

эффективность водоочистной и водорегулирующей функций биоты в ландшафтно-бассейновой геосистеме. Согласно зарубежным методикам [42; 43], использованным при оценке фрагментации местообитаний, применялся метод «эффективной ячейки» (формула 2), показывающий среднюю площадь нефрагментированного участка (m_{eff}) в выбранных границах:

$$m_{eff} = \left(\left(\frac{A_1}{A_{total}} \right)^2 + \left(\frac{A_2}{A_{total}} \right)^2 + \left(\frac{A_3}{A_{total}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{A_n}{A_{total}} \right)^2 \right) \times A_{total} = \quad (2)$$

$$\frac{1}{A_{total}} \times \sum_{i=1}^n A_i^2 \quad (2)$$

где:

n – число участков,

A_i – площадь участков ($i = 1, \dots, n$),

A_{total} – общая площадь.

Если территория полностью застроена, то $m_{eff} = 0$; а если территория не разделена искусственными рубежами, то $m_{eff} =$ её площади.

Данные показатели до этого применялись только для небольших по площади урбанизированных территорий с целью разделить экологически эффективные площади и застройку [10]. В настоящем исследовании они были впервые апробированы для оценки «здоровья» речных бассейнов. Это позволило на конкретных примерах изучить общую фрагментацию бассейновой суши (стокоформирующей территории), степень которой оказывает влияние на уязвимость речных бассейнов к современным изменениям климата, что проявляется в активизации неблагоприятных природных явлений, имеющих гидрометеорологический генезис. Использование данного подхода позволит усовершенствовать анализ колебаний речного стока, применительно к конкретной ландшафтно-бассейновой структуре.

Анализ влияния ландшафтно-экологических изменений на трансформацию речного стока

Трансформация поверхностной и подземной составляющих речного стока находятся в прямой зависимости от изменения климата (количества осадков, направленный тренд на потепление или похолодание и т. д.) и геоэкологического состояния водосборов.

Колебания речного стока. Анализ значений расходов воды рр. Пышмы и Ницы показал, что абсолютные показатели стока возрастают в 1980-е и 2008–2016 гг. по сравнению с периодом исчисления нормы стока, который принимался по К. П. Воскресенскому [2] с конца XIX в. по 1960-е гг. (табл. 2). Это характерно как для среднегодовых значений расходов воды, так и для гидрологических сезонов. Прирост зна-

Таблица 2 / Table 2

Средние значения расходов воды рр. Пышмы и Ницы за указанные периоды / Average water runoff of the Pyshma and Nitsa rivers

Тип стока	Период исчисления нормы стока, м ³ /с	1980–е гг., м ³ /с	2008–2016 гг., м ³ /с
р. Пышма			
Среднегодовой	28,2	39,0	33,5
Зимний	6,4	14,3	11,9
Весенний	102,2	115,5	115,4
Летне-осенний	20,3	31,1	22,5
р. Ница			
Среднегодовой	42,1	54,4	48,6
Зимний	11,7	21,6	18,5
Весенний	144,4	168,8	153,0
Летне-осенний	31,4	43,1	36,8

Источник: составлено авторами

чений стока воды из двух исследуемых рек отмечается на р. Нице.

Соотношение объёмов подземной и поверхностной составляющих стока, рассчитывающихся путём расчленения гидрографа, в 1959 г. (это наиболее ранний период, для которого имелись данные о ежедневных расходах воды) показало, что в этот год на обеих реках превалировал подземный сток (рис. 2А-Б). Также для р. Пышмы отдельно изучался 1969 г., т. к. за данный период в верховьях реки было создано Белоярское водохранилище. Вследствие заполнения водохранилища произошло подтопление территории, что, по-видимому, привело к увеличению подземной составляющей стока до 54%. В 1980–е гг. в среднем поверхностный сток составлял 70% у обеих рек, сохраняющий тенденцию к росту в современный период (в среднем до 73% – на р. Пышме и до 75% – на р. Нице).

Для обеих рек было проведено сравнение доли стока воды за каждый месяц в общегодовом речном стоке, взятом за 100%, за 1980–е и 2008–2016 гг. (рис. 2 В-Г). Отмечается, что в современный период происходит увеличение доли стока, приходящейся на весеннее половодье (на 3% – для Пышмы и 5% – для Ницы), а летне-осенние паводки, наоборот, исчезают.

Современные изменения климата как фактор динамики речного стока. В пределах изучаемых речных бассейнов наблюдается увеличение температуры воздуха как за год, так и за гидрологические сезоны после 1970 г. (рис. 3А-Б). В основном, это происходит за счёт потепления зимнего периода (на 1,5°C – для бассейна р. Пышмы, на 1,2°C – для водосбора р. Ницы). Те же тенденции характерны и для количества выпадающих осадков над данными территориями (рис. 3В-Г). Основной рост осадков происходит за счёт летне-осеннего периода. В пределах бассейна

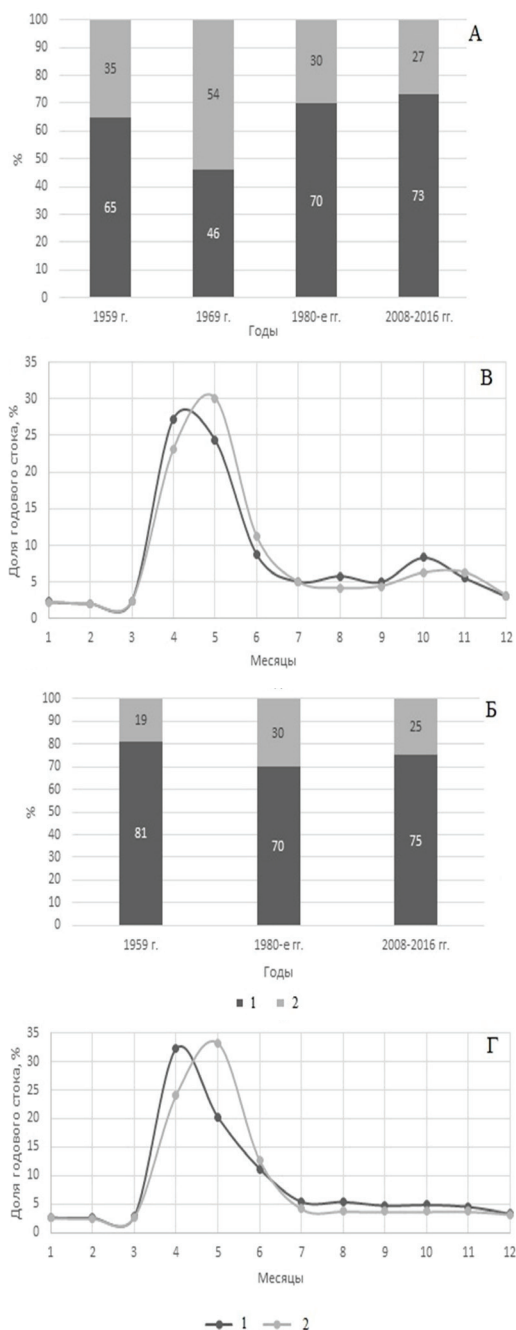


Рис. 2 / Fig. 2. Колебания речного стока: динамика поверхностного (1) и подземного (2) стока на рр. Пышме (А) и Нице (Б); динамика относительного речного стока на рр. Нице (1) и Пышме (2) в 1980-е гг. (В) и 2008–2016 гг. (Г) / Fluctuations in water runoff: dynamics of surface (1) and underground (2) runoff on the Pyshma (A) and Nitsa (B) rivers; the dynamics of the relative water runoff in the Nitsa (1) and Pyshma (2) rivers in the 1980s (B) and 2008–2016 (C).

Источник: данные авторов

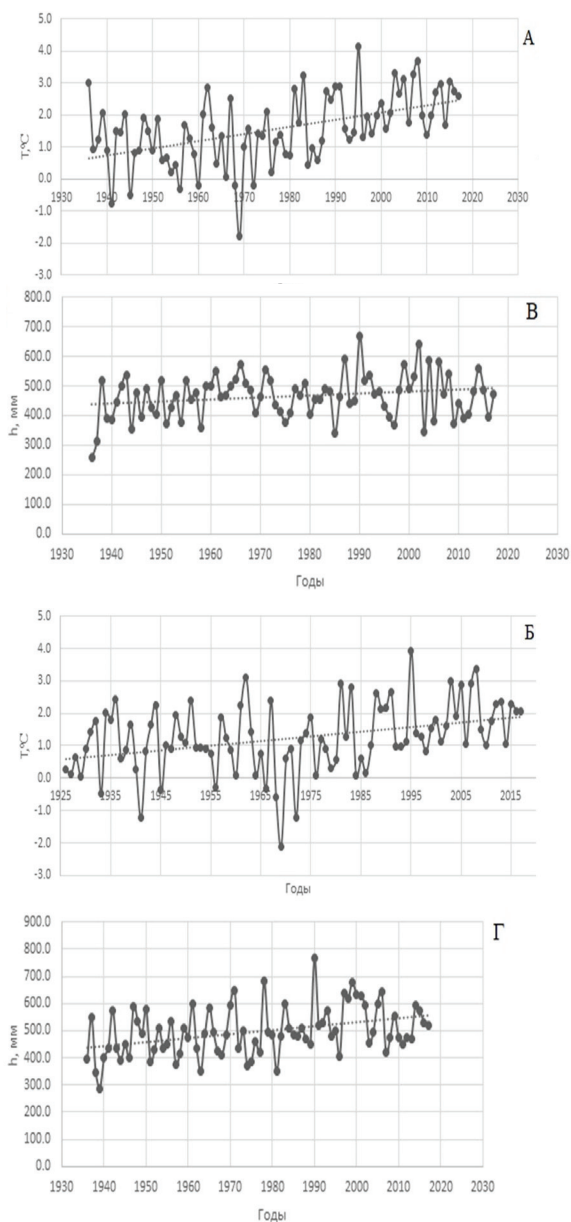


Рис. 3 / Fig. 3. Изменение климата: динамика среднегодовой температуры воздуха для бассейнов р. Пышмы (метеостанция в г. Тюмени) за 1936–2017 гг. (А) и р. Ницы (метеостанция в г. Туринске) за 1936–2017 гг. (Б); динамика среднегодового количества осадков для бассейнов р. Пышмы (метеостанция в г. Тюмени) за 1936–2017 гг. (В) и р. Ницы (метеостанция в г. Туринске) за 1936–2017 гг. (Г) / Climate change: dynamics of the average annual air temperature for the Pyshma river basin (weather station in Tyumen) for 1936–2017 (A) and the Nitsa River basin (weather station in Turinsk) for 1936–2017 (B); dynamics of the average annual rainfall for the Pyshma river basin (weather station in Tyumen) for 1936–2017 (C) and the Nitsa River basin (weather station in Turinsk) for 1936–2017 (D).

Источник: данные авторов

р. Ница произошло увеличение количества осадков на 57 мм, а для водосбора р. Пышмы оно составило 21 мм.

Было проведено сравнение значений расходов воды за год и сезоны и количества выпадающих осадков для рр. Пышма и Ница как за основной (с 1936 по 2016 гг.), так и за ключевой (1980-е и 2008–2016 гг.) периоды. Расчёт коэффициентов корреляции показал слабую линейную связь (диапазон величин колеблется от 0,08 до 0,47). Исключение составили коэффициенты корреляции для р. Ница в летне-осенний период (0,50 и 0,62). Это показывает её большую отзывчивость на климатические изменения, и, как следствие, проявление неблагоприятных гидрологических явлений в связи с большей хозяйственной освоенностью бассейна р. Ницы, о чём будет сказано ниже.

Антропогенная трансформация ландшафта как фактор динамики речного стока. В пределах анализируемых водосборов выделено 5 классов объектов: сельскохозяйственные угодья, урбанизированные территории, вырубки, заболоченные территории и леса (рис. 4А-Б). Динамика землепользования с середины 1980-х по 2016 гг. показала, что урбанизированные и заболоченные территории возраста-

ли на протяжении всего исследуемого периода.

Уменьшение площади сельскохозяйственных угодий (в основном земель под пашнями) началось с середины 1980-х гг, продолжалось в 1990-е вплоть до 2008 г., а в современный период (с 2009 г.) начинают, наоборот, увеличиваться [22]. Этот рост, в первую очередь, связан с возрастающей потребностью животноводства в кормовой базе (фуражном зерне). Изменение площади лесных территорий различается в пределах речных бассейнов. Так, для водосборной территории р. Пышмы характерно постепенное сокращение лесов и возрастание рубок леса. Тогда как речной бассейн Ницы до 2008 г. отличался восстановлением леса на старых вырубках, которое сменилось в современный период (с 2009 г.) активными лесозаготовками. В общем, площади антропогенномодифицированных и техногенных ландшафтов (сельскохозяйственных угодий, вырубок, урбанизированных территорий и др. объектов техногенеза) в пределах речных бассейнов выросли в современный период по сравнению с 1980-ми гг. на 3% для Ницы и на 1% для Пышмы. Для них же были рассчитаны ежегодные скорости изменения их площади [47; 48] (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Ежегодная скорость изменения площади класса антропогенных объектов, % / The annual rate of change in the area of the class of anthropogenic objects, %

Бассейн	1984, 1985–2008 гг.			2008–2016 гг.		
	С/х угодья	Вырубки	Техногенные объекты	С/х угодья	Вырубки	Техногенные объекты
р. Пышма	–1,17	0,48	0,77	1,05	0,67	1,05
р. Ница	–1,19	–0,52	1,69	1,66	0,82	1,78

Источник: составлено авторами

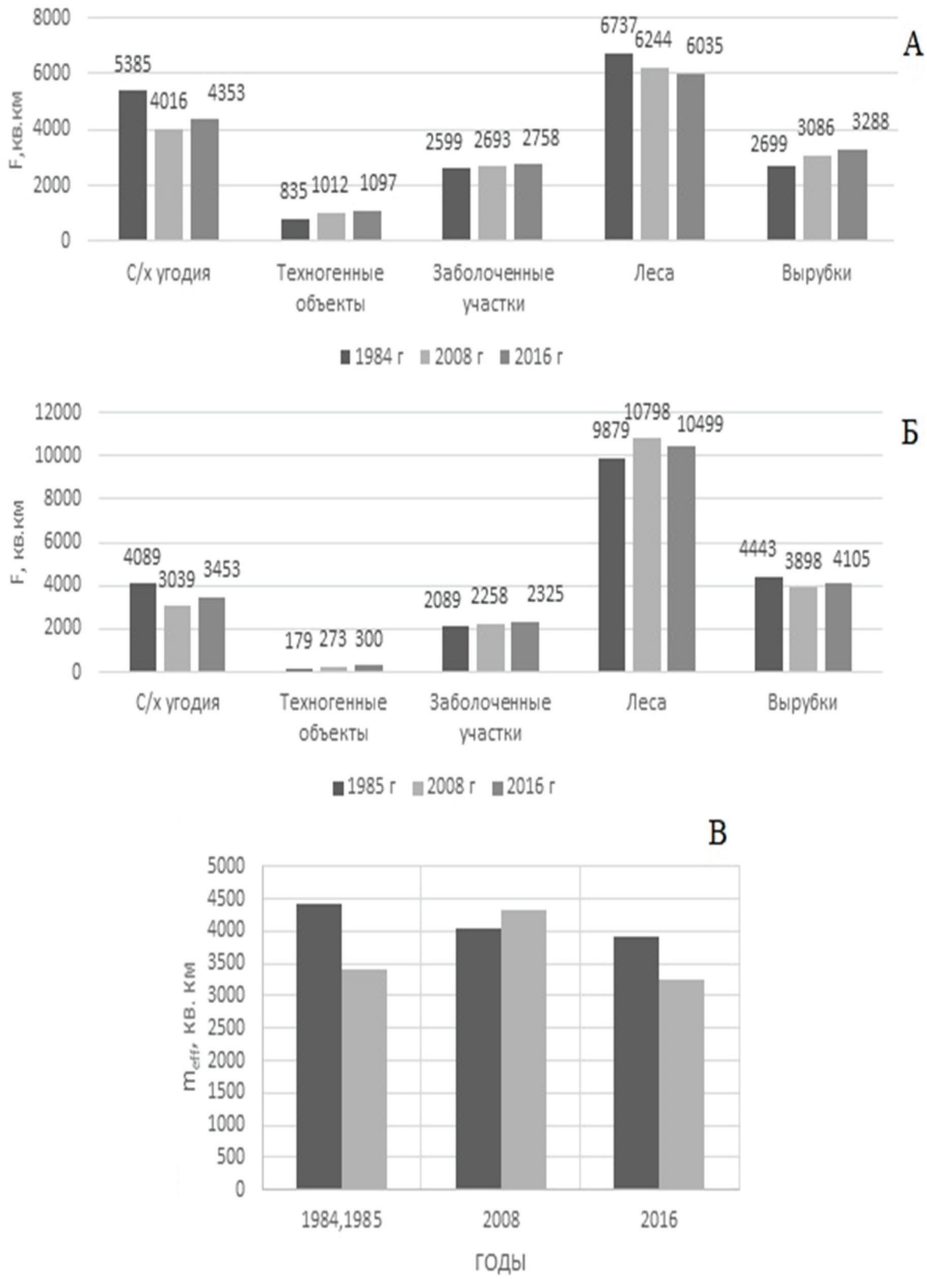


Рис. 4 / Fig. 4. Влияние антропогенной деятельности на речные бассейны: динамика землепользования с середины 1980-х по 2016 гг. для бассейнов рр. Пышмы (А) и Ницы (Б); площадь нефрагментированной территории в пределах бассейнов рр. Пышмы (1) и Ницы (2) за период 1980-х–2016 гг. (В) / The impact of anthropogenic activities on river basins: land use dynamics from the mid-1980s to 2016 for Pyshma river basin (А) and the Nitsa River basin (Б); the area of unfragmented territory within the river basins: Pyshma (1) and Nitsa (2) for the period of 1980s–2016 (С).

Источник: данные авторов

Отмечается, что в период 2008–2016 гг. интенсивность антропогенного преобразования территории увеличилась, в первую очередь, в пределах бассейна р. Ницы.

Степень фрагментации территории искусственными рубежами, под которыми подразумеваются площадные и линейные объекты [42; 43], показала, что площадь ненарушенных территорий в пределах речного бассейна р. Пышмы с середины 1980-х по 2016 гг. сокращалась (рис. 4В). Тогда как для водосбора р. Ницы площадь нефрагментированной территории увеличилась за счёт зарастания вырубок до 2008 г., но к 2016 г. активное освоение речного бассейна р. Ница привело к

сокращению площади ненарушенных территорий, которые составляют сейчас значительно меньшую долю от общей площади по сравнению с водосбором р. Пышмы (14 и 20% соответственно).

Оценка современного состояния растительного покрова [14], выполняющего значимую роль в формировании стока, в совокупности с анализом структуры землепользования позволило получить категории современных ландшафтов в бассейнах рр. Пышмы и Ницы (рис. 5) согласно классификации, разработанной на географическом факультете МГУ [21]: условно-коренные, вторично-производные, антропогенно-модифицированные и

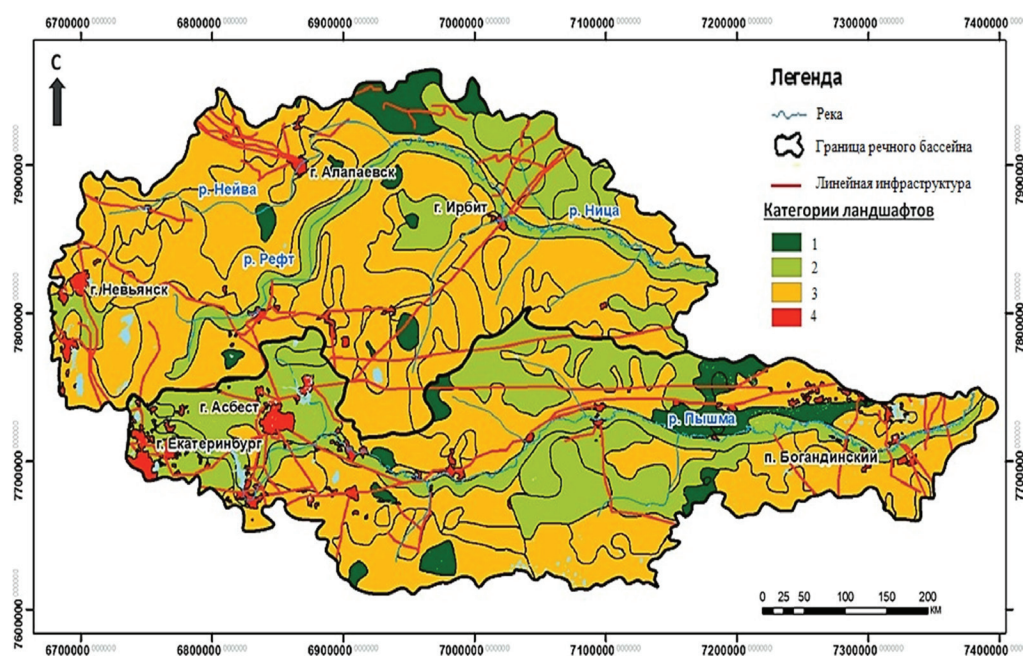


Рис. 5 / Fig. 5. Категории современных ландшафтов в бассейнах рр. Пышмы и Ницы: 1 – условно-коренные, 2 – вторично-производные, 3 – антропогенно-модифицированные, 4 – техногенные / Categories of modern landscapes in the basins of the Pyshma and Nica rivers: 1 – conditionally native, 2 – secondary derivatives, 3 – anthropogenically modified, 4 – technogenic.

Источник: данные авторов

техногенные. Первые 2 типа можно отнести к экологически эффективным территориям, которые могут выполнять основные средоформирующие и средозащитные функции. Они главные «носители» биоты, которая обеспечивает сохранение естественного гидрологического режима территории, и являются буфером для изменений, которые происходят в результате современных климатических изменений. Два остальных типа ландшафта испытывают постоянное воздействие в ходе хозяйственной деятельности человека, а их компоненты (литогенная основа, гидроклиматические условия и биота) могут быть полностью изменены.

Анализ полученных данных показал, что наиболее антропогенно преобразованным речным бассейном является водосбор р. Ницы, т. к. на долю антропогенно-модифицированных и техногенных ландшафтов приходится 78% от общей площади, тогда как для бассейна р. Пышмы они составляют 58%. Условно-коренные и вторично-производные ландшафты в пределах водосбора р. Ницы занимают 4 и 18% от общей территории, а в бассейне р. Пышмы – 8 и 36%.

Наиболее преобразованные в пределах двух аналоговых водосборов – южнотаёжные и подтаёжные ландшафты озёрно-аллювиальных и аллювиальных низменных равнин с покровом лессовых и лессовидных суглинков мощностью до 17 м, южнотаёжные ландшафты древнеаллювиальных и древнедельтовых задровых низменных равнин с покровом песков и галечников мощностью от 20 до 30 м, подтаёжные ландшафты древнеаллювиальных, озёрно-аллювиальных и озёрных низменных равнин

с покровом глинистых и суглинистых отложений мощностью от 15 до 40 м. Учитывая индивидуальные инженерно-геологические свойства почвогрунтов, наиболее денудационно-опасным в пределах данных водосборов, представляется освоение озёрно-аллювиальных и аллювиальных низменных равнин с покровом лессовых и лессовидных суглинков, мощность которых достигает почти 20 м.

Относительно устойчивыми к механической денудации в пределах бассейнов рр. Ницы и Пышмы являются южнотаёжные ландшафты эрозионных и эрозионно-денудационных возвышенных равнин на элювиально-делювиальных суглинисто-супесчаных отложениях с включениями слабо выветрелого щебня и редкого гравия мощностью до 5 м и песчано-суглинистых отложений с покровом лессовых суглинков и лессовидных супесей (до 5 м). Наличие трудно размываемых отложений в пределах данных ландшафтов определяет их низкий денудационный потенциал.

Природоохранные мероприятия. Речной сток в значительной степени организован функционированием системы «растительность – почва – зона активного водообмена», следовательно, состояние водосборных ландшафтов – фактор существенного воздействия на гидролого-экологическую ситуацию в речном бассейне. Поэтому в зависимости от степени антропогенной трансформации ландшафтов речного бассейна необходимо применять дифференцированные меры по улучшению экологической ситуации в его пределах. Такое планирование должно осуществляться в масштабах всего водосбора, но зачастую это сдерживается административными границами.

Предложенные ниже мероприятия с указанными граничными значениями преобразованных территорий представляются актуальными для южно-таёжных и подтаёжных ландшафтов, а для других зональных условий они должны иметь иные рубежные показатели. Указанные величины имеют ориентировочное значение и в значительной степени зависят от доли запечатанных, распаханых и действующих лесохозяйственных территорий.

При *высокой* степени антропогенной трансформации ландшафтов (>60%) ввиду нарушения экологических функций ландшафта необходимо проводить лесовосстановление, агролесомелиоративные мероприятия и «зелёное» обустройство городского пространства (создание и развитие экологического каркаса территории).

При *средней* степени антропогенной модификации ландшафтов (30–60%) следует реализовывать мероприятия по управлению антропогенной нагрузкой (её интенсивностью и пространственной структурой) во избежание дальнейшего ухудшения экологической ситуации.

При *низкой* степени трансформации ландшафтов (менее 30%) целесообразно размещать ООПТ как для охраны биологического разнообразия, так и для защиты территорий с высоким денудационным потенциалом.

Заключение

В ходе исследования выявлен общий тренд увеличения количества выпадающих осадков (в бассейне р. Ница на 57 мм за весь анализируемый период, а в бассейне р. Пышма – на 21 мм), что совпадает с ростом расходов воды (для р. Ницы рост $Q_{\text{ср.год}}$ на $7 \text{ м}^3/\text{с}$, а для

р. Пышмы – $6 \text{ м}^3/\text{с}$). Однако отмечается незначительное влияние изменения климата на трансформацию режима стока воды каждой из рек (коэффициенты корреляции между расходами воды и годовым количеством осадков невысоки за исключением летне-осеннего сезона на р. Нице).

В настоящее время отмечен рост антропогенно-преобразованных ландшафтов в сравнении с периодом 1980-х гг. (для бассейна р. Ницы – на 3%, для бассейна р. Пышмы – на 1%), что согласуется с увеличением расходов воды по сравнению с периодом исчисления нормы, а также с ростом поверхностного стока с 1980-х гг. на 3% для р. Пышма и на 5% для р. Ница. Эти изменения выражаются в последующей трансформации гидрологического режима, что проявляется в форме увеличения роли весеннего половодья и снижения вклада летне-осенних паводков.

Наибольшее антропогенное влияние испытывает водосборный бассейн р. Ницы (78% антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных ландшафтов и 14% нефрагментированной территории в сравнении с 58 и 20% в бассейне р. Пышмы соответственно), что обуславливает её большую уязвимость к неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям (разрушительные наводнения).

Оценку влияния антропогенной трансформации бассейновых ландшафтов предлагаем осуществлять: а) на основе анализа динамики площадных параметров абiotизированных (антропогенно-модифицированных и техногенно-преобразованных геосистем), характеризующихся наибольшей интенсивностью поверхностного

стока, в т. ч. и в связи с запечатанностью почвогрунтов; б) на основе сравнения расчётных значений степени фрагментации территорий водосборов площадными объектами и линейными рубежами рукотворного происхождения в разные временные периоды.

На наш взгляд, экологическое состояние речного бассейна необходимо оценивать по сумме параметров: запасов фитомассы в динамике, степени фрагментации территории площадными и линейными объектами антропогенного (в т. ч. техногенного) происхождения и тенденции её изменения, динамики поверхностной и подземной составляющих стока, изменения доли весеннего половодья и летне-осенних паводков в структуре речного стока, динамики речного стока за гидрологические фазы, наличия и повторяемости катастрофических гидрологических явлений (аномально высокие половодья, наводнения, обмеления реки и т. д.).

Проведённая работа позволила не только выявить вклад антропогенной трансформации ландшафтов и климатических флуктуаций в изменении структуры речного стока, но и выделить ключевые гидрологические индикаторы, позволяющие оцени-

вать тенденции развития природно-антропогенных процессов в пределах территории речных бассейнов. Путь к повышению устойчивости бассейновых геосистем в условиях изменения климата должен базироваться на комплексных оценках с привлечением данных по абиотизации и фрагментации стокоформирующих ландшафтов.

В данной статье предложена технология первичной оценки экологического состояния речных бассейнов (т. е. степени «здоровья» их стокоформирующих ландшафтов), базирующаяся на анализе современной ландшафтной структуры их территорий в увязке с динамикой гидрологических характеристик. Данный подход позволяет утверждать, что бассейн – это особый объект, весьма перспективный не только для геоэкологического изучения, но и для управления окружающей средой и природно-антропогенными рисками. Поэтому изучение ландшафтно-бассейновых структур продолжает сегодня оставаться фундаментальной проблемой современной географии и геоэкологии, а исследование подобных образований требует использования самых разнообразных методов и подходов, накопленных науками о Земле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н. И. Речной сток: географическая роль и индикационные свойства // Вопросы географии. 2012. Вып. 133. С. 48–71.
2. Воскресенский К. П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 552 с.
3. Глазовская М. А. Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биогеохимические циклы в биосфере / отв. науч. ред. А. Г. Назаров. М.: Наука, 1976. С. 99–118.
4. Голосов В. Н., Сидорчук А. Ю., Чернов А. В. Малые реки как наиболее уязвимое звено речной сети // Эрозионные и русловые процессы. 1996. Вып. 2. С. 56–70.
5. Горшков С. П. Организованность биосферы и устойчивое развитие // Жизнь Земли. 2015. Вып. 37. С. 62–84.

6. Горшков С. П. Речные бассейны как главные звенья биосферы // *Меняющийся мир: географический подход к изучению* / пер. с англ. Р. Дж. Бэрри, Т. В. Бочкарева, А. А. Величко и др. М.: Прогресс, 1991. С. 257–263.
7. Горшков С. П. *Учение о биосфере. Введение*. М.: МГУ, 2007. 118 с.
8. Горшков С. П. *Экзодинамические процессы освоенных территорий*. Москва: Недра, 1982. 286 с.
9. *Западная Сибирь* / отв. ред. Г. Д. Рихтер. М.: АН СССР, 1963. 490 с.
10. Захаров К. В. Оценка степени фрагментации местообитаний диких животных искусственными рубежами (на примере Московского региона) // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический*. 2015. Вып. 120. № 2. С. 3–10.
11. Исаченко А. Г. *Ландшафты СССР*. Л.: ЛГУ, 1985. 320 с.
12. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. *Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья)*. Тюмень: ТюмГУ, 1998. 220 с.
13. Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. *Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России*. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 225 с.
14. *Карта растительности Свердловской области*. М–б 1:2 500 000. Москва: Роскартография, 1997.
15. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Влияние урбанизированных территорий на речной сток в Европе // *Известия РАН. Серия географическая*. 2019. № 3. С. 78–87. DOI: 10.31857/S25875566201937887
16. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Гидрологические последствия изменения землепользования в бассейне реки Москвы // *Известия РАН. Серия географическая*. 2015. № 5. С. 38–45.
17. Коронкевич Н. И. *Преобразование водного баланса*. М.: Наука, 1973. 119 с.
18. Кoryтный Л. М. *Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию* // *География и природные ресурсы*. 2017. Вып. 2. С. 5–16.
19. Крестовский О. И. *Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек*. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 118 с.
20. Кузнецов М. С. Понятие «противоэрозионная стойкость почв» и классификация почв по противоэрозионной стойкости // *Эрозия почв и русловые процессы* / науч. ред. Н. И. Маккавеев, Р. С. Чалов. М.: МГУ, 1981. С. 54–66.
21. Куракова Л. И., Романова Э. П. *Современные ландшафты: содержание, классификация, тенденции развития* // *Вестник МГУ. Серия 5. География*. 1989. № 5. С. 31–37.
22. Мамяченков В. Н. *Растениеводство Среднего Урала в 1913–2012 гг.: сто лет реформирования* // *Научный диалог*. 2017. Вып. 7. С. 144–161.
23. Мандыч А. Ф. Роль водной эрозии в реакции растительности на изменения климата // *Известия АН СССР. Серия географическая*. 1990. Вып. 1. С. 18–26.
24. Марунич С. В., Федоров С. Ф. *Изменение водного режима водосборов под влиянием лесохозяйственных мероприятий* // *Труды ГГИ*. 1986. Вып. 311. С. 93–103.
25. Медведков А. А. *Среднетаежные геосистемы бассейна р. Енисей в условиях меняющегося климата: дис. ... канд. геогр. наук*. М., 2013. 184 с.
26. Медведков А. А., Котова М. В. *Противопожарный потенциал лесов водоохраной зоны озера Байкал (на территории Байкало–Ленского заповедника)* // *Известия РАН. Серия географическая*. 2020. № 5. С. 764–775. DOI: 10.31857/S2587556620050118
27. Мильков Ф. Н. *Бассейн реки как парадинамическая ландшафтная система и вопросы природопользования* // *География и природные ресурсы*. 1981. № 4. С. 11–18.
28. Назаров Н. А., Сиринов А. А. *Модель и алгоритмы расчета формирования речного стока на лесном водосборе*. М.: Междувед. геофиз. ком., 1988. 107 с.

29. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Том 11: Средний Урал и Приуралье. Вып. 2. Тобол / под ред. Н. М. Алюшинской. М.: Гидрометеиздат, 1965. 535 с.
30. Ретеюм А. Ю. Механизмы функционирования геосистем // Известия АН СССР. Серия географическая. 1988. № 6. С. 42–48.
31. Ретеюм А. Ю. Физико-географическое районирование и выделение геосистем // Вопросы географии. 1975. Вып. 98. С. 5–27.
32. Симонов Ю. Г., Симонова Т. Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. 2003. Вып. 4. С. 7–32.
33. Титов И. А. Взаимодействие растительных сообществ и условий среды. М.: Советская наука, 1952. 470 с.
34. Трикар Ж., Каие А. Проблемы классификации геоморфологических явлений // Вопросы климатической и структурной геоморфологии / под ред. Ю. А. Мещерякова. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. С. 32–66.
35. Уайт Г. Водные ресурсы США: проблемы использования / пер. с англ. А. Н. Кренке. М.: Прогресс, 1973. 191 с.
36. Урал и Приуралье / отв. ред. И. В. Комар, А. Г. Чикише. М.: Наука, 1968. 461 с.
37. Федоров С. Ф., Марунич С. В. Гидрологическая роль леса. Обнинск, 1985. 43 с.
38. Чалов Р. С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1. Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
39. Швебс Г. И. Теоретические аспекты географо-гидрологических и ландшафтно-гидрологических исследований // Гидрологические исследования ландшафтов: сб. статей / отв. ред. Г. В. Бачурин, Л. М. Корытный. Новосибирск, 1986. С. 5–8.
40. Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 334 с.
41. Ясинский С. В., Веницианов Е. В., Вишневская И. А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Водные ресурсы. 2019. Вып. 46. № 2. С. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244
42. European Environment Agency. Landscape fragmentation in Europe. EEA Report № 2. Copenhagen: EEA, 2011. 87 p.
43. Jaeger J. A. G. Landschaftszerschneidung: Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung. Stuttgart: Ulmer, 2002. 447 p.
44. Le Thuy Ngan, Bregt Arnold K., Halsem, Gerardo E. van Hellegers, Petra J.G.J., Nguyen Lam-Dao Interplay between land-use dynamics and changes in hydrological regime in the Vietnamese Mekong Delta // Land use policy. 2018. Vol. 73. P. 269–280.
45. Patil R., Pullar D., Wei Y. Understanding hydro-ecological surprises for riverine ecosystem management // Current Opinion in Environmental Sustainability. 2018. Vol. 33. P. 142–150. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.05.021
46. Ponpang-Nga P., Techamahasaranont J. Effects of climate and land use changes on water balance in upstream in the Chao Phraya River basin, Thailand // Agriculture and Natural Resources. 2016. Vol. 50. P. 310–320. DOI: 10.1016/j.anres.2016.10.005
47. Puyravaud J.-P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation // Forest Ecology and Management. 2003. Vol. 177. P. 593–596. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
48. Rodríguez Erazo N., Armenteras-ascual D., Retana Alumbrosos J. Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios // Journal of Land Use Science. 2013. Vol. 8. P. 154–157.

49. Trang N. T. T., Shrestha S., Shrestha M., et al. Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok) // *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 576. P. 586–598. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.138

REFERENCES

1. Alekseevsky N. I. [River flow: geographical role and indicator properties]. In: *Voprosy geografii* [Questions of geography], 2012, iss. 133, pp. 48–71.
2. Voskresensky K. P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka reki Sovetskogo Soyuz* [Norm and variability of annual flow of rivers of the Soviet Union]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1962. 552 p.
3. Glazovskaya M. A. [Landscape-geochemical systems and their resistance to technogenesis]. In: Nazarov A. G., ed. *Biogeokhimicheskiye tsikly v biosfere* [Biogeochemical cycles in the biosphere]. Moscow, Nauka Publ., 1976, pp. 99–118.
4. Golosov V. N., Sidorchuk A. Yu., Chernov A. V. [Small rivers as the most vulnerable link of the river network]. In: *Erozionnyye i ruslovnyye protsessy* [Erosion and channel processes], 1996, vol. 2, pp. 56–70.
5. Gorshkov S. P. [Organization of the biosphere and sustainable development]. In: *Zhizn Zemli* [Life of the Earth], 2015, iss. 37, pp. 62–84.
6. Gorshkov S. P. [River basins as the main links of the biosphere]. In: *Global change: geographical approaches* (Rus. ed.: Barry R. J., Bochkareva T. V., Velichko A. A., transl. from Engl. *Menyayushchiysya mir: geograficheskiy podkhod k izucheniyu*). Moscow, Pogresss Publ., 1991, pp. 257–263).
7. Gorshkov S. P. *Obucheniye o biosfere. Vvedeniye* [Doctrine of the biosphere. Introduction]. Moscow, MGU Publ., 2007. 118 p.
8. Gorshkov S. P. *Ekzodinamicheskiye protsessy osvoyeniya territoriy* [Exodynamic processes of developed territories]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 286 p.
9. Richter G. D. M., ed. *Zapadnaya Sibir* [Western Siberia]. Moscow, AN SSSR, 1963. 490 p.
10. Zakharov K. V. [Assessment of the degree of fragmentation of wild animal habitats by artificial boundaries (using the example of the Moscow region)]. In: [Bulletin of the Moscow Society of Nature Scientists. Department of biology], 2015, iss. 120, no. 2, pp. 3–10.
11. Isachenko A. G. [Landscapes of the USSR]. Leningrad, LGU Publ., 1985. 320 p.
12. Kalinin V. M., Larin S. I., Romanova I. M. [Small rivers under conditions of anthropogenic impact (on the example of the Eastern Trans-Urals)]. Tyumen, TyumGU Publ., 1998. 220 p.
13. Karpechko Yu. V., Bondarik N. L. [Hydrological role of forestry and forestry work in the taiga zone of the European North of Russia]. Petrozavodsk, KarNTS RAN, 2010. 225 p.
14. *Karta rastitelnosti Sverdlovskoy oblasti. M–b 1 : 2 500 000* [Map of vegetation of the Sverdlovsk region. Scale 1 : 2 500 000]. Moscow Roscartography, 1997.
15. Koronkevich N. I., Melnik K. S. [The influence of urbanized territories on river flow in Europe]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestiya RAS. Geographical series], 2019, no. 3, pp. 78–87. DOI: 10.31857/S25875566201937887
16. Koronkevich N. I., Melnik K. S. [Hydrological consequences of land use changes in the Moscow River basin]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestia RAS. Geographical series], 2015, no. 5, pp. 38–45.
17. Koronkevich N. I. *Preobrazovaniye vodnogo balansa* [Transformation of water balance]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 119 p.
18. Korytny L. M. [Basin concept: from hydrology to environmental management]. In: *Geografiya i prirodnnyye resursy* [Geography and natural resources], 2017, vol. 2, pp. 5–16.
19. Krestovskiy O. I. *Vliyaniye vyrubok i vosstanovleniya lesa Otsenka vodnosti rek* [The influence

- of felling and restoration of forests on the water content of rivers]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986. 118 p.
20. Kuznetsov M. S. [The concept of “anti-erosion resistance of soils” and classification of soils according to anti-erosion resistance]. In: Makkaveev N. I., Chalov R. S., eds. *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil erosion and channel processes]. Moscow, MGU Publ., 1981, pp. 54–66.
21. Kurakova L. I., Romanova E. P. [Modern landscapes: content, classification, development trends]. In: *Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya* [Bulletin of Moscow State University. Series 5. Geography], 1989, no. 5, pp. 31–37.
22. Mamyachenkov V. N. [Crop production of the Middle Urals in 1913–2012: one hundred years of reform]. In: *Nauchnyy dialog* [Scientific dialogue], 2017, vol. 7, pp. 144–161.
23. Mandych A. F. [The role of water erosion in the response of vegetation to climate change]. In: *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical series], 1990, vol. 1, pp. 18–26.
24. Marunich S. V., Fedorov S. F. [Changes in the water regime of catchment areas under the influence of forestry measures]. In: *Trudy GGI* [Proceedings of the State Hydrological Institute], 1986, vol. 311, pp. 93–103.
25. Medvedkov A. A. *Srednetayozhnyye geosistemy basseyna r. Yenisey v usloviyakh menyayushchegosya klimata : dis. ... kand. geogr. nauk* [Middle taiga geosystems of the river basin. Yenisei in a changing climate: Cand. Sci. thesis in Geography Sciences]. Moscow, 2013. 184 p.
26. Medvedkov A. A., Kotova M. V. [Fire potential of forests in the water protection zone of Lake Baikal (on the territory of the Baikal-Lena Nature Reserve)]. In: *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestia RAS. Geographical series], 2020, no. 5, pp. 764–775. DOI: 10.31857/S2587556620050118
27. Milkov F. N. [River basin as a paradynamic landscape system and environmental management issues]. In: *Geografiya i prirodnyye resursy* [Geography and natural resources], 1981, no. 4, pp. 11–18.
28. Nazarov N. A., Sirin A. A. *Model i algoritmy rascheta formirovaniya rechnogo zapasa na lesnom vodosbore* [Model and algorithms for calculating the formation of river flow in a forest catchment]. Moscow, Mezhdud. geofiz. kom. Publ., 1988. 107 p.
29. Alushinskaya N. M., ed. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost. Tom 11: Sredniy Ural i Priuralye. Vyp. 2. Tobol* [Surface water resources of the USSR. Hydrological knowledge. Volume 11: Middle Urals and Urals. Vol. 2. Tobol]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1965. 535 p.
30. Reteyum A. Yu. [Mechanisms of functioning of geosystems]. In: *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences. Geographical series], 1988, no. 6, pp. 42–48.
31. Reteyum A. Yu. [Physico-geographical zoning and identification of geosystems]. In: *Voprosy geografii* [Questions of geography], 1975, iss. 98, pp. 5–27.
32. Simonov Yu. G., Simonova T. Yu. [River basin and basin organization of the geographical envelope]. In: *Eroziya pochv i ruslovyye protsessy* [Soil erosion and channel processes], 2003, vol. 4, pp. 7–32.
33. Titov I. A. *Vzaimodeystviye rastitelnykh usloviy i usloviy okruzhayushchey sredy* [Interaction of plant communities and environmental conditions]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1952. 470 p.
34. Tricard J., Kaye A. [Problems of classification of geomorphological phenomena]. In: Meshcheryakova Yu. A., ed. *Voprosy klimaticheskoy i strukturnoy geomorfologii* [Questions of climatic and structural geomorphology]. Moscow, Izd-vo inostr. lit. Publ., 1959, pp. 32–66.
35. White G. Water resources of the USA: problems of use (Rus. ed.: Krenke A. P., transl. *Vodnyye resursy SSHA: problemy ispolzovaniya*. Moscow, Progress Publ., 1973. 191 p.)

36. Komar I. V., Chikishe A. G., eds. *Ural i Priuralye* [Urals and the Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1968. 461 p.
37. Fedorov S. F., Marunich S. V. *Gidrologicheskaya rol lesa* [Hydrological role of forest]. Obninsk, 1985. 43 p.
38. Chalov R. S. *Rulovedeniye: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovyye protsessy: prichiny, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Channel studies: theory, geography, practice. Vol. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and conditions for the formation of river channels]. Moscow, Izd-vo LKI Publ., 2008. 608 p.
39. Shwebs G. I. [Theoretical aspects of geographical-hydrological and landscape-hydrological studies]. In: Bachurin G. V., Korytny L. M., eds. *Gidrologicheskiye issledovaniya landshaftov* [Hydrological studies of landscapes]. Novosibirsk, 1986, pp. 5–8.
40. Shiklomanov I. A. *Khozyaystvennaya deyatel'nost' na rechnom stoke* [The influence of economic activity on river flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989. 334 p.
41. Yasinsky S. V., Venitsianov E. V., Vishnevskaya I. A. [Diffuse pollution of water bodies and assessment of the removal of nutrients under different land use scenarios in the watershed]. In: *Vodnyye resursy* [Water Resources], 2019, vol. 46, no. 2, pp. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244
42. European Environment Agency. *Landscape fragmentation in Europe. EEA Report № 2*. Copenhagen: EEA, 2011. 87 p.
43. Jaeger J. A. G. *Landschaftszerschneidung: Eine transdisziplinäre Studie gemäß dem Konzept der Umweltgefährdung*. Stuttgart, Ulmer, 2002. 447 p.
44. Le Thuy Ngan, Bregt Arnold K., Halsem, Gerardo E. van Hellegers, Petra J.G.J., Nguyen Lam-Dao Interplay between land-use dynamics and changes in hydrological regime in the Vietnamese Mekong Delta. In: *Land use policy*, 2018, vol. 73, pp. 269–280.
45. Patil R., Pullar D., Wei Y. Understanding hydro-ecological surprises for riverine ecosystem management. In: *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2018, vol. 33, pp. 142–150. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.05.021
46. Ponpang-Nga P., Techamahasaranont J. Effects of climate and land use changes on water balance in upstream in the Chao Phraya River basin, Thailand. In: *Agriculture and Natural Resources*, 2016, vol. 50, pp. 310–320. DOI: 10.1016/j.anres.2016.10.005
47. Puyravaud J.-P. Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. In: *Forest Ecology and Management*, 2003, vol. 177, pp. 593–596. DOI: 10.1016/S0378-1127(02)00335-3
48. Rodríguez Erazo N., Armenteras-ascual D., Retana Alumbrosos J. Land use and land cover change in the Colombian Andes: Dynamics and future scenarios. In: *Journal of Land Use Science*, 2013, vol. 8, pp. 154–157.
49. Trang N. T. T., Shrestha S., Shrestha M., et al. Evaluating the impacts of climate and land-use change on the hydrology and nutrient yield in a transboundary river basin: A case study in the 3S River Basin (Sekong, Sesan, and Srepok). In: *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 576, pp. 586–598. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.138

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Куракова Анна Александровна – кандидат географических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова;
e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

Медведков Алексей Анатольевич – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии мира и геоэкологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова; старший научный сотрудник отдела физической географии и проблем природопользования Института географии РАН; e-mail: a-medvedkov@bk.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Anna A. Kurakova – PhD (Geography), Junior Researcher, Makkaveev laboratory of soil erosion and fluvial processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; e-mail: a.a.kurakova@mail.ru

Alexei A. Medvedkov – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Physical Geography of the World and Geoecology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; Senior Researcher, Department of Physical Geography and Nature Management Problems, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences; e-mail: a-medvedkov@bk.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Куракова А. А., Медведков А. А. Влияние ландшафтно-экологических изменений на трансформацию речного стока двух водосборов-аналогов в юго-западной части Обь-Иртышского бассейна // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 30–54.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-30-54

FOR CITATION

Kurakova A. A., Medvedkov A. A. Influence of landscape-ecological changes on river flow transformation of two analogues drains in the southwestern part of the Ob-Irtysh basin. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 30–54.
DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-30-54