

Гидроэкологические ограничения использования водных ресурсов трансграничных рек Урала и Тобола в пределах степной зоны

Жанна Т. Сивохип¹, Владимир М. Павлейчик¹, Александр А. Чибилёв¹,
Юрий А. Падалко¹, Мария А. Козлова², Ольга Б. Попова³

¹Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

²Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

³Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Контактное лицо

Жанна Т. Сивохип, к.г.н., доцент, отдел ландшафтной экологии, Институт степи УрО РАН; 460000, Россия, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11. Тел. +79225591567

Email sivohip@mail.ru

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5704-0554>

Формат цитирования

Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А., Козлова М.А., Попова О.Б. Гидроэкологические ограничения использования водных ресурсов трансграничных рек Урала и Тобола в пределах степной зоны // Юг России: экология, развитие. 2024. Т.19, N 2. С. 170-180. DOI: 10.18470/1992-1098-2024-2-15

Получена 1 октября 2023 г.

Прошла рецензирование 14 декабря 2023 г.

Принята 15 января 2024 г.

Резюме

Цель – выявить основные типы гидроэкологических ограничений использования водных ресурсов и их пространственные закономерности в бассейнах рр. Урал и Тобол в пределах степной зоны.

Комплексная оценка водно-экологической ситуации в регионах исследуемых бассейнов проведена на основе расчета водно-экологического стресса – соотношение объемов забора воды и свободного стока (средний многолетний сток минус экологический). Для оценки экологических ограничений водопользования использованы данные Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды». Риск затопления населенных пунктов оценивался по сведениям из реестров населённых пунктов подверженных угрозе затоплений (подтоплений). Анализ динамики русловых процессов проводился на основе использования спутниковых изображений Landsat. Для рек бассейна р. Тобол использован подход, основанный на учете характера русловых трансформаций на участке государственной границы (РФ и РК).

Установлены основные типы гидроэкологических ограничений в трансграничных бассейнах рр. Урал и Тобол. В частности, ключевым фактором, лимитирующим водопользование, является наличие гарантированного объема водных ресурсов надлежащего качества. К гидрологическим ограничениям, связанным с негативным воздействием вод, относятся риски затопления (подтопления) населенных пунктов во время прохождения весенних или летних паводков, а также интенсивные русловые трансформации (в бассейне р. Урал).

Для бассейнов рр. Урал и Тобол (в пределах степной зоны) характерно развитие достаточно сложной гидроэкологической ситуации на отдельных участках. С учетом длительного цикла низкой водности рек общая гидроэкологическая обстановка обострилась в последние десятилетия (прежде всего проблема гарантированного обеспечения водными ресурсами нормативного качества). В итоге, актуальной задачей является разработка алгоритма интегральной оценки гидроэкологических ограничений водопользования и их последствий для населения и экономики регионов степной зоны.

Ключевые слова

Речной сток, водный стресс, качество воды, русловые трансформации, наводнение.

Hydroecological limitations of the use of water resources of transboundary rivers of the steppe zone (through the example of the Ural and Tobol Rivers, Russia)

Zhanna T. Sivohip¹, Vladimir M. Pavleichik¹, Alexander A. Chibilev¹, Yuri A. Padalko¹, Maria A. Kozlova² and Olga B. Popova³

¹Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

²Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Orenburg State University, Orenburg, Russia

Principal contact

Zhanna T. Sivohip, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Landscape Ecology, Institute of Steppe, Ural Branch, Russian Academy of Sciences; 11 Pionerskaya St, Orenburg, Russia 460000. Tel. +79225591567
Email sivohip@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5704-0554>

How to cite this article

Sivohip Zh.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Yu.A., Kozlova M.A., Popova O.B. Hydroecological limitations of the use of water resources of transboundary rivers of the steppe zone (through the example of the Ural and Tobol Rivers, Russia). *South of Russia: ecology, development*. 2024; 19(2):170-180. (In Russ.) DOI: 10.18470/1992-1098-2024-2-15

Received 1 October 2023

Revised 14 December 2023

Accepted 15 January 2024

Abstract

To identify the main types of hydroecological restriction on the use of water resources and their spatial patterns in the Ural and Tobol river basins within the steppe zone.

A comprehensive assessment of the water-environmental situation in the regions of the studied basins studied was carried out on the basis of the calculation of water-environmental stress – the ratio of water intake and free flow (average long-term flow minus ecological). To assess the environmental restrictions on water use, data from the State reports, “On the State and Protection of the Environment” were used. Exposure to the risk of flooding of settlements was analysed according to information from the registers of settlements at risk of flooding (flooding). Analysis of the dynamics of channel processes was carried out using Landsat satellite images. For the rivers of the Tobol River basin, an approach based on taking into account the nature of channel transformations in the sectors of the state border of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan was used.

As a result of the research, the main types of hydroecological restriction in the transboundary basins of the Ural and Tobol were identified. In particular, the key factor limiting water use is the availability of a guaranteed volume and adequate quality of water resources. Hydrological restrictions associated with the negative impact of water include the risks of flooding of settlements during the passage of spring or summer floods, as well as intensive riverbed transformations (in the Ural River basin).

The Ural and Tobol river basins (within the steppe zone) are characterised by the development of a rather complex hydroecological situation in some areas. Taking into account the long cycle of low water content in these rivers, the general hydroecological situation has aggravated in recent decades, the primary problem being that of guaranteed provision of water resources of standard quality. As a result, an urgent task is to develop an algorithm for a comprehensive assessment of hydroecological restrictions on water use and their consequences for the population and economy of the regions of the steppe zone.

Key Words

River flow, water stress, water quality, transformation of riverbed, flood.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой современности является снижение риска негативных последствий антропогенного воздействия на природную среду. В настоящее время, антропогенная трансформация отдельных природных экосистем достигла значительных масштабов, что обуславливает развитие экстремальных гидроэкологических ситуаций для населения и экономики. К подобным экосистемам относится степная зона, природные ресурсы которой на протяжении длительного времени активно осваиваются разными видами природопользования.

Лимитирующий фактор социально-экономического развития для многих регионов степной зоны – наличие гарантированного объема ресурсов речного стока, в связи чем одной из актуальных задач является достижение экономически эффективного и экологически безопасного использования водных ресурсов [1]. В настоящее время, гидроэкологическая ситуация в регионах осложняется проблемами, связанными с качеством мониторинга и прогнозирования состояния водных

объектов, несовершенством водного законодательства и экономических механизмов природо- и водопользования [2]. Необходимо отметить, что в зависимости от сочетания природных и антропогенных факторов изменяются масштабы влияния гидрологических ограничений на реализацию задач по достижению экологически безопасного использования ресурсов водных объектов [3].

Особую актуальность представляют вопросы обеспечения гидроэкологической безопасности в трансграничных бассейнах рек, которые представляют собой пространственно интегрированную систему, где решение задач по достижению экономически эффективного и экологически безопасного водопользования осложняется водохозяйственными, институциональными и управленческими противоречиями государств-водопользователей [4]. В данной статье представлены результаты пространственного анализа гидроэкологических ограничений в смежных трансграничных речных бассейнах рек Урал и Тобол (в пределах степной зоны) (рис. 1).

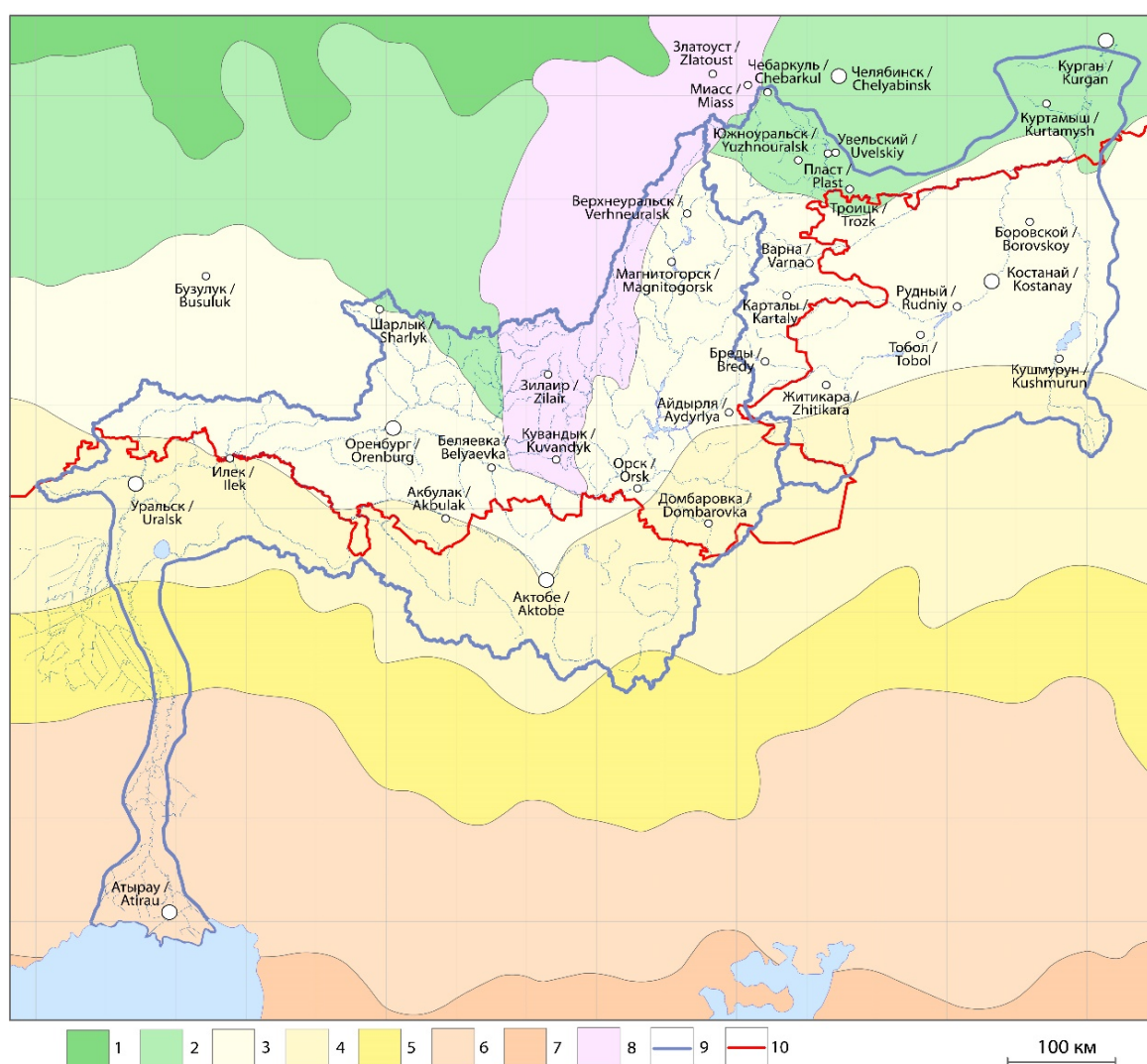


Рисунок 1. Трансграничные бассейны рр. Урал и Тобол на схеме широтной зональности, по: [5]

Природные зоны: 1 – зона широколиственных лесов; 2 – зона лесостепи; 3–5 – степная зона (3 – северные, 4 – средние, 5 – южные степи); 6–7 – зона пустынь (6 – северные, 7 – средние); 8 – горная область Южного Урала (азональные лесостепные и таежные ландшафты). 9 – границы водосборов рр. Урал и Тобол (до г. Курган), 10 – государственная граница Российской Федерации и Республики Казахстан

Figure 1. Transboundary Ural and Tobol rivers basins per the latitudinal zonality scheme, according to: [5]

Natural zones: 1 – zone of broad-leaf forests; 2 – forest-steppe zone; 3–5 – steppe zone (3 – arid, 4 – dry, 5 – deserted steppes); 6–7 – desert zone (6 – northern, 7 – middle); 8 – mountainous region of the Southern Urals (azonal forest-steppe and taiga landscapes); 9 – the boundaries of the catchment areas of the Ural and Tobol rivers (to the city of Kurgan); 10 – state border of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan

Водосборная территория трансграничного бассейна р. Урал практически полностью совпадает с зональным распространением степных ландшафтов (более 70 %). Основная доля стока формируется в верхней и средней части бассейна, в пределах Российской Федерации. Казахстанский участок реки, ниже г. Уральск, характеризуется отсутствием боковой приточности и значительными потерями на непродуктивное испарением с поверхности широкой поймы. В регионах трансграничного бассейна р. Урал проживает более 4 млн человек, в том числе и в долинно-приречных ландшафтах, что, несомненно, усугубляет эколого-гидрологическую обстановку на отдельных гидрографических участках. Регионы бассейна р. Урал характеризуются развитием многоотраслевой экономики с доминированием горнодобывающей, топливно-энергетической и металлургической промышленности, а также сельскохозяйственного производства.

Верховья трансграничного бассейна р. Тобол, расположены в пределах Республики Казахстан. Формирование речного стока р. Тобол в пределах степной зоны происходит в условиях недостаточного увлажнения и значительной антропогенной трансформации водосборных территорий. Степная часть исследуемого бассейна характеризуется преобладающим развитием горнодобывающей, обрабатывающей, пищевой промышленности. В аграрном секторе приоритетное развитие получили растениеводство (зерновые, масличные, кормовые культуры) и крупнотоварное животноводство.

С учетом физико-географических и антропогенных факторов формирования речного стока, для трансграничных бассейнов рр. Урал и Тобол наиболее острые проблемы гидроэкологической безопасности обусловлены нарастанием экстремальности изменений характерных параметров водности (расходы, уровни), трансформации качественного состава речных вод, активизации русловых процессов, затоплением (подтоплением) селитебных территорий и др. В связи с этим, целью исследования стало выявление основных типов опасных гидроэкологических ситуаций и их пространственных закономерностей в бассейнах рр. Урал и Тобол в пределах степной зоны.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Детализированная оценка возобновляемых водных ресурсов бассейнов рр. Урал и Тобол получена на основе обработки и анализа данных о наличии, использовании и охране водных ресурсов в регионах Российской Федерации и Республики Казахстан [6; 7]. Комплексная оценка водно-экологической ситуации в регионах исследуемых бассейнов проведена на основе расчета водно-экологического стресса – соотношение объемов забора воды и свободного стока (средний многолетний сток минус экологический). Экологический и свободный сток (допустимое изъятие) рассчитаны на основе нормы стока (50 %) за период исследования и стока 75 и 95 % обеспеченности за этот же период. Оценки экологического стока получены методом пропорционального стока [8], в соответствии с которым экологический сток определяется с помощью переходных коэффициентов для стока разной обеспеченности – для 50% – 0,7; для 75% – 0,8; для 95% – 0,9.

Оценка экологических ограничений водопользования проведена для российских участков

исследуемых бассейнов на основе данных Государственных докладов «О состоянии и об охране окружающей среды» [9–12]. Традиционно экологические ограничения водопользования рассматриваются на основе индекса загрязнения вод (ИЗВ) или удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ). УКИЗВ учитывает частоту и кратность превышения ПДК по нескольким показателям и может варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16 (для чистой воды 0). Большому значению индекса соответствует худшее качество воды. Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности. Помимо этого, были проанализированы среднегодовые концентрации химических веществ в речной воде, приведенные к рыбохозяйственным ПДК.

Риск затопления населенных пунктов оценивался по сведениям, полученным по запросам в службы по чрезвычайным ситуациям, постановлениям региональных правительств РФ, включающих реестры населенных пунктов подверженных угрозе затоплений (подтоплений) исследуемой территории [13; 14]. По Республике Казахстан аналогичный анализ проведен на основе официальных сведений Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан [15].

Анализ динамики русловых процессов проводился на основе использования спутниковых изображений Landsat за период 1985–2022 годы, а также набора топографических и исторических карт. Маловодность большинства рек бассейна р. Тобол в пределах степной зоны не позволяет достоверно использовать спутниковые данные среднего пространственного разрешения для изучения процессов боковой эрозии и пространственных смещений положения русла. В связи с этим, нами использован подход, основанный на учете характера русловых трансформаций на участке государственной границы (РФ и РК), проведенной по руслам рек Тобол и Уй. В качестве источника сведений о положении государственной границы России и Казахстана использованы схемы карты ГосГисЦентра масштаба 1:25000 и 1:500000. Современное положение русла и средняя скорость развития излучин фиксировались по спутниковым изображениям высокого разрешения сервиса Google Earth.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

К основным лимитирующим факторам водопользования в регионах степной зоны относится наличие гарантированного объема и надлежащего качества водных ресурсов.

Для детализированной оценки возобновляемых водных ресурсов исследуемых бассейнов необходимо иметь представление о соотношении ресурсов общего и местного стока, и в первую очередь для регионов, расположенных в среднем и нижнем течениях трансграничных рек. В частности, суммарный приток с территории Российской Федерации на территорию Республики Казахстан оценивается как сумма стока рр. Урал и Сакмара – 7,8 км³/год. Местные ресурсы речного стока нижнего участка определяются как сумма стока рек, не впадающих в р. Урал (1,1 км³/год) и притоков, сток которых формируется в пределах Республики Казахстан – Илек (1,3 км³/год), Ор (0,12 км³/год), Утва (0,14 км³/год) и др. [16]. Таким образом, регионы

нижнего течения р. Урал находятся в значительной зависимости от объемов поступления речного стока с сопредельной территории Российской Федерации. Например, в Западно-Казахстанской области доля местного стока не превышает 40 %; Атырауская область характеризуется практически полным отсутствием местного стока (менее 1 %). Для бассейна р. Тобол в пределах степной зоны характерно развитие противоположной ситуации, когда российские регионы (Курганская область) находятся в значительной зависимости от поступления ресурсов речного стока с территории Республики Казахстан.

Актуальным для оценки современного состояния ресурсов речного стока в исследуемом бассейне является сопоставление величин общего и местного

стока с объемами экологического и свободного стока. Согласно полученным данным, регионы со значительной долей транзитного стока характеризуются достаточно низкими величинами свободного стока в маловодные годы (75–95 %). Например, в Оренбургской, Западно-Казахстанской и Атырауской областях в маловодные годы ($P=95\%$) величина свободного стока с учетом только местных ресурсов речного стока не превышает $0,2 \text{ км}^3/\text{год}$.

На основе расчетов величин свободного стока проведена оценка водно-экологической напряженности (водно-экологический стресс) в регионах исследуемого бассейна – соотношение забора пресной воды и свободного стока с учетом местных и общих водных ресурсов (рис. 2).

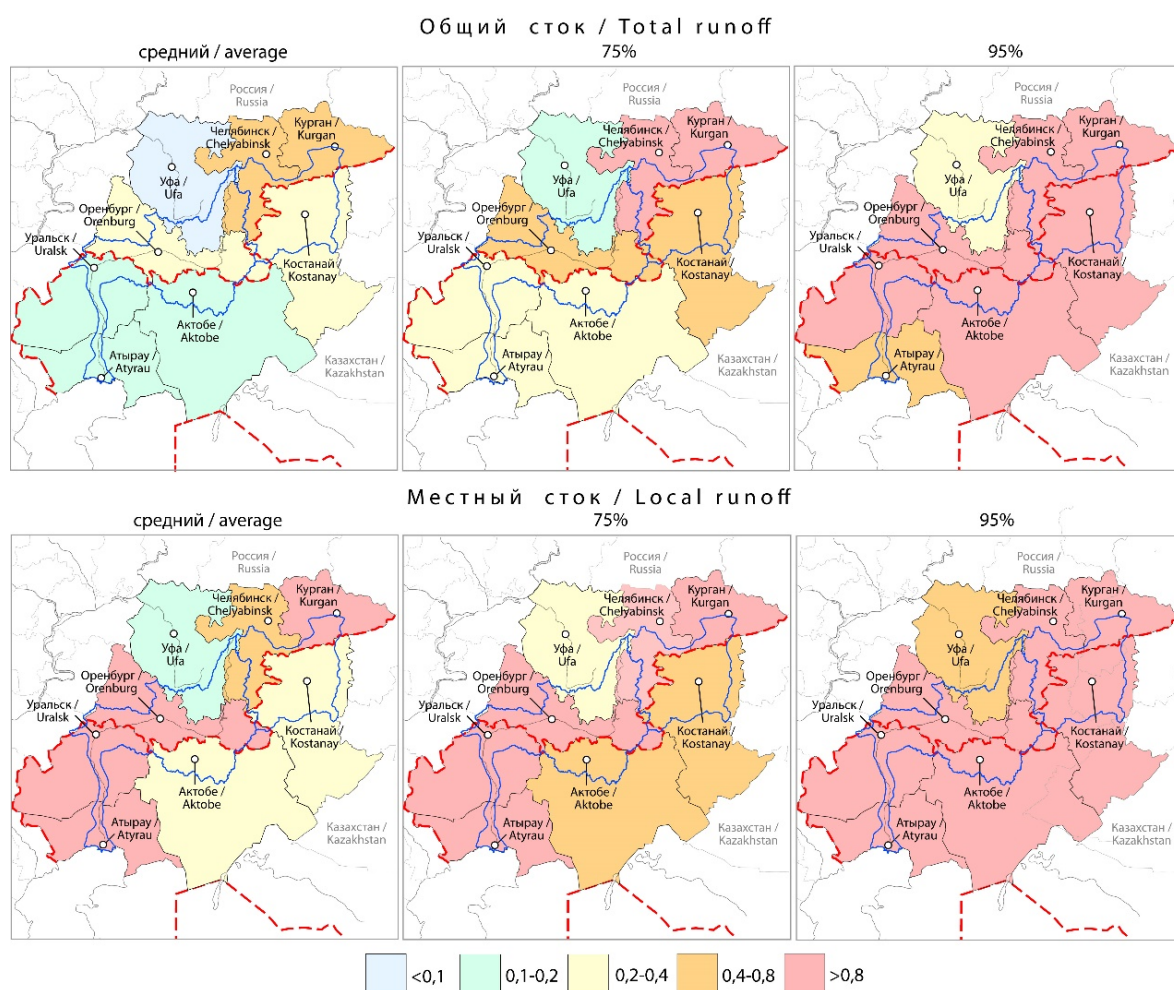


Рисунок 2. Водно-экологический стресс в регионах трансграничных бассейнов рр. Урал и Тобол

Индекс стресса: <0,1 – незначительный; 0,1–0,2 – низкий; 0,2–0,4 – средний; 0,4–0,8 – высокий; >0,8 – очень высокий

Figure 2. Water stress within the regions of the transboundary Ural and Tobol river basins

Stress index: <0.1 – insignificant; 0.1–0.2 – low; 0.2–0.4 – medium; 0.4–0.8 – high; >0.8 – very high

Отношение водозабора к свободному стоку (индекс стресса) изменяется в среднем по водности год с учетом общих ресурсов от 7 % в Республике Башкортостан до 52 % в Челябинской области; в маловодный год 75 % обеспеченности в большинстве регионов индекс стресса превышает 30 % (в Челябинской области ресурсы свободного стока отсутствуют), а в год 95 % обеспеченности водно-экологическая напряженность наблюдается в большинстве регионов. Еще более напряженная водно-экологическая ситуация наблюдается при расчете индекса стресса с учетом ресурсов местного стока – отсутствие свободного стока для

отдельных регионов отмечается уже в средний по водности год (Оренбургская область), а в маловодные годы водно-экологический стресс характерен для всех регионов, кроме Республики Башкортостан.

Как было отмечено выше, кроме проблемы обеспечения гарантированным объемом ресурсов речного стока, для регионов трансграничных рек степной зоны актуальной задачей является обеспечение водными ресурсами нормативного качества. Примером экологических ограничений использования водных ресурсов в бассейнах рр. Урал и Тобол является трансформация качественного состава речной воды,

ухудшение которого связано с природными или антропогенными факторами [17]. Критически высокое химическое загрязнение возникает из-за сильной антропогенной нагрузки вследствие аварийных сбросов химических соединений.

Гидрохимический анализ речных вод в российской части исследуемого бассейна за период

2007–2021 гг. показывает, что качество воды главной реки и притоков не соответствуют требованиям, предъявляемым к рыбохозяйственным водоемам. Класс качества воды в пределах исследуемого бассейна варьирует в пределах от 2 до 4 класса, но может достигать и 5 класса (рис. 3).

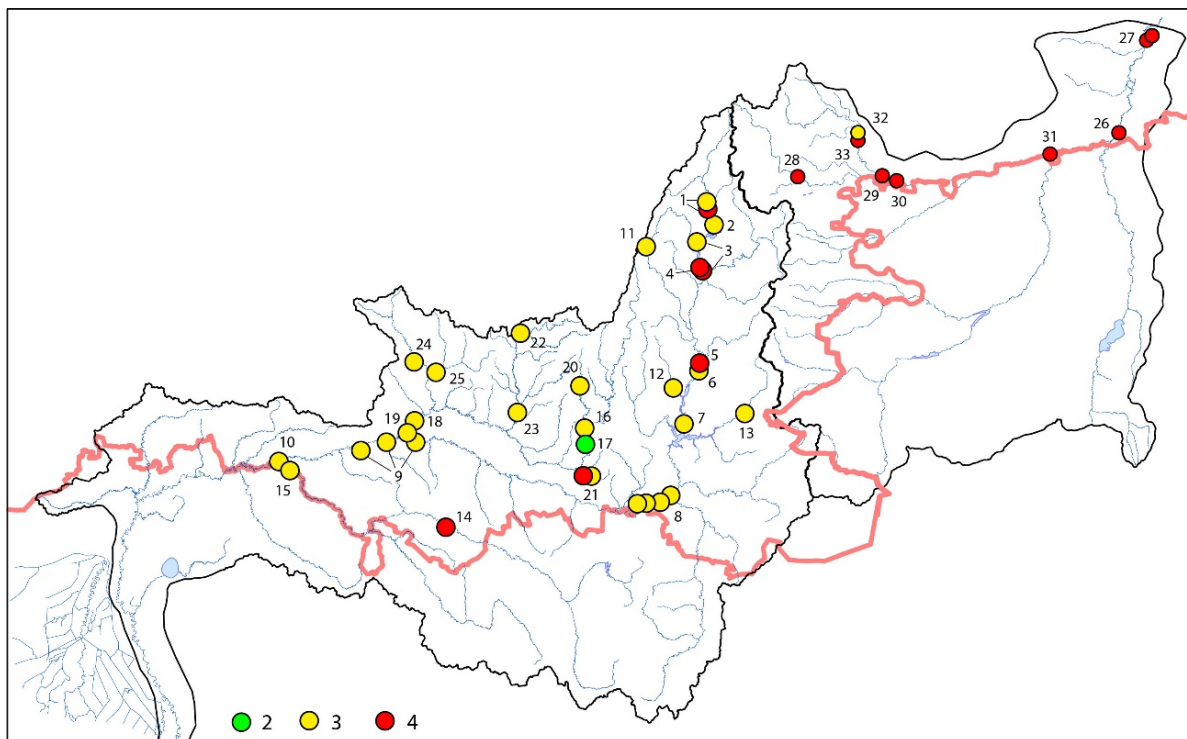


Рисунок 3. Усредненные значения класса качества воды в бассейнах рр. Урал и Тобол (в пределах Российской Федерации) за период 2007–2021 гг. [9–12]

1 – Урал – Верхнеуральск; 2 – Верхнеуральское вдхр. – Спасский; 3 – Урал – Магнитогорск; 4 – Магнитогорское вдхр.; 5 – Урал – Богдановское; 6 – Урал – Березовка; 7 – Ириклинское вдхр.; 8 – Урал – Орск; 9 – Урал – Оренбург; 10 – Урал – Илек; 11 – Бол. Кизил – Бурангулово; 12 – Бол. Уртазымка – Сосновка; 13 – Суундук – Майский; 14 – Илек – Веселый; 15 – Илек – Илек; 16 – Сакмара – Акъюлово; 17 – Сакмара – Юмагузино; 18 – Сакмара – Тат. Каргала; 19 – Сакмара – Оренбург; 20 – Зилаир – Зилаир; 21 – Блява – Медногорск; 22 – Бол. Ик – Мраково; 23 – Бол. Ик – Спасское; 24 – Салмыш – Буланово; 25 – Юшатырь – Октябрьское; 26 – Тобол – Звериноголовское; 27 – Тобол – Курган; 28 – Уй – Степное; 29 – Троицкое вдхр. – Троицк; 30 – Уй – Бобровский; 31 – Уй – Усть-Уйское; 32 – Увелька – Южноуральск; 33 – Увелька – Троицк

Figure 3. Average values of water quality class in the transboundary Ural and Tobol river basins (within the Russian Federation) for the period 2007–2021 [9–12]

1 – Ural – Verhneursk; 2 – Verhneursk res. – Spasskiy; 3 – Ural – Magnitogorsk; 4 – Magnitogorsk res. – Magnitogorsk; 5 – Ural – Bogdanovskoe; 6 – Ural – Berezovka; 7 – Iriclinskiy res.; 8 – Ural – Orsk; 9 – Ural – Orenburg; 10 – Ural – Ilek; 11 – Bol. Kizil – Burangulovo; 12 – Bol. Urtazimka – Sosnovka; 13 – Suunduk – Mayskiy; 14 – Ilek – Vesolyi; 15 – Ilek – Ilek; 16 – Sakmara – Akyulovo; 17 – Sakmara – Yumaguzino; 18 – Sakmara – Tat. Kargala; 19 – Sakmara – Orenburg; 20 – Zilair – Zilair; 21 – Blyava – Mednogorsk; 22 – Bol. Ik – Mrakovo; 23 – Bol. Ik – Spasskoe; 24 – Salmyshe – Bulanovo; 25 – Yushatyir – Oktyabrskoe; 26 – Tobol – Zverinogolovskoe; 27 – Tobol – Kurgan; 28 – Uy – Steptoe; 29 – Troizk res. – Troizk; 30 – Uy – Bobrovskiy; 31 – Uy – Ust-Uyskoe; 32 – Uvelka – Yuzhnouralsk; 33 – Uvelka – Troizk

К основным загрязняющим веществам, оказывающим максимальное воздействие на качество воды, можно отнести медь, цинк, марганец, железо, биогенные элементы, нефтепродукты, органические вещества (по БПК₅ и ХПК). Наиболее длительно действующими источниками техногенной метаморфизации речных вод в верховье бассейна р. Урал являются отвалы вскрышных пород и шламохранилищ, образующие обширные ареалы загрязнения поверхностного и подземного стока. Вместе с тем, наличие в Южном Зауралье природных геохимических аномалий, обусловленных крупными рудными полями и их длительным промышленным освоением, обусловило формирование повышенного фоновое содержания ионов меди, цинка и других сопутствующих металлов [18]. Концентрация железа достигает до 8–10 ПДК,

меди – до 6 ПДК, марганца – до 8 ПДК. Отдельной проблемой является экстремально высокое загрязнение притоков р. Урал – рр. Блява, Таналык и Худолаз. Например, содержание меди в р. Блява (ниже г. Медногорск) зачастую превышает ПДК в 80–100 раз и достигает в отдельные годы (2012–2014 гг.) значений 200–230 ПДК, а содержание цинка – 60–75 ПДК (2018–2022 гг.).

Напряженная гидроэкологическая ситуация на отдельных гидрографических участках обусловлена поступлением высокотоксичных загрязняющих веществ, в том числе относящихся к I классу опасности. В частности, острой проблемой в верхнем течении р. Илек (левый приток р. Урал) остается локализация очага загрязнения Cr (6+) и В подземных вод аллювиальных отложений в гг. Алга и Актобе

Актюбинской области. По данным ежегодника «Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Республики Казахстан», в р. Илек кратность превышения ПДК по бору составила 15,8, а по шестивалентному хрому 4,9 в

2018 году. Согласно данным таблицы 1, высокие значения превышения ПДК по бору отмечаются преимущественно в осенний сезон с максимальными значениями превышения ПДК – 58–74 в 2009 году.

Таблица 1. Сезонная динамика превышения ПДК бора (В) в створах р. Илек в пределах Республики Казахстан (по данным: [19])

Table 1. Seasonal dynamics of exceeding the MAC of boron (В) in the sections of the Ilek River within the Republic of Kazakhstan (according to: [19])

Годы Years	Алга Alga			Георгиевка Georgievka			Целинный Tselinny		
	Апрель April	Июль July	Октябрь October	Апрель April	Июль July	Октябрь October	Апрель April	Июль July	Октябрь October
2009	21,2	32,9	74,1	17,1	11,2	57,6	10,6	12,9	72,9
2011	13,2	13,0	40,5	14,1	11,3	14,2	11,2	19,5	12,7
2012	35,9	20,6	27,1	81,8	10,0	22,2	-	10,6	-
2013	10,6	14,7	33,5	11,2	11,2	-	-	-	-
2014	-	14,7	18,8	12,9	-	10,6	-	-	-
2015	11,2	12,9	16,8	17,1	13,5	-	11,2	15,9	-
2016	10,3	-	48,9	10,6	-	10,3	13,2	-	28,2
2017	12,7	24,1	-	18,6	-	-	12,1	-	-
2018	22,3	40,2	54,2	15,5	-	-	15,8	-	-

Проблема загрязнения р. Илек усугубляется трансграничным переносом высокотоксичных элементов на территорию Российской Федерации. По данным Оренбургской специализированной инспекции государственного экологического мониторинга и анализа в течение 2008–2020 гг. максимальные превышения хрома во входном створе п. Веселый в среднем составляли 2,4 ПДК – с минимумом 1,1 ПДК в 2019 г. и максимумом 3,3 ПДК в 2008 г. Концентрация данного загрязняющего вещества в створе п. Веселый, увеличивается в осенний период и достигает максимума в зимний период. Также отметим, что формированию геохимических аномалий хрома способствуют и природные факторы, поскольку хром является элементом, характерным для водоносных горизонтов мелового возраста (долина р. Илек). Таким образом, наряду с техногенным загрязнением присутствуют и естественные аномалии по хрому.

Неоднозначная гидроэкологическая ситуация наблюдается в бассейне р. Тобол, где вклад в загрязнения речных вод также вносят как природный, так и антропогенный факторы. Воды бассейна р. Тобол в пределах степной зоны отнесены преимущественно к 4-му классу (рис. 3). В створах р. Тобол выявлены регулярные превышения ПДК по таким показателям как органические вещества (ХПК и БПК₅), азот нитрит., железо общ., медь, цинк, сульфаты, нефтепродукты. Критическим показателем загрязненности как в казахстанской, так и в российской части бассейна является марганец. Причиной высокого содержания марганца в поверхностных водах региона является природный фактор – в меженные периоды основным питанием рек являются подземные воды, богатые содержанием данного соединения. Сильно загрязненными являются реки Уй и Увелька, воды которых характеризуются как «очень загрязненные» или «грязные». К примеру, качественный состав воды р. Уй формируется под влиянием поверхностного стока и правобережного притока – р. Кидыш – водоприемника сточных вод ОАО «Учалинский ГОК». В створе с. Степное наблюдается значительное превышение по марганцу (35–40 ПДК), цинку (до 8 и даже 12 ПДК (в 2015 г.)), меди (до 5–6 ПДК) и пр.

Из гидроэкологических ограничений, определяемых негативным воздействием речных вод в первую очередь необходимо отметить риски для населения и хозяйства, обусловленных прохождением высоких волн весеннего половодья или дождевых паводков. В бассейне р. Урал около 200 населённых пунктов, в том числе 7 городов (Верхнеуральск, Магнитогорск, Орск, Оренбург, Актобе, Уральск и Атырау) расположены в зоне подтопления (рис. 4). Общая ориентировочная численность населения, проживающая в пределах данной зоны, составляет свыше 300 тыс. человек. Из российских регионов максимальная численность населения в зоне затопления отмечается для Оренбургской (14,8 тыс. чел.) и Челябинской областей (16,3 тыс. чел.). В нижнем течении р. Урал, особую опасность представляют сооружения и гидроузлы водохранилищ Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы. В случае развития аварийной ситуации в зону затопления попадут 34 населенных пункта с населением 30 тыс. человек в пределах Западно-Казахстанской области.

В бассейне р. Тобол более 100 населённых пунктов находятся в зоне затопления и подтопления. В отличие от бассейна р. Урал здесь чаще отмечаются подтопления, связанные с подъёмом грунтовых вод, повышением уровня многочисленных бессточных озёр и котловин, особенно в Костанайской области. Отмечены случаи затопления прибрежной части населённых пунктов Троицким и Южно-Уральским водохранилищами.

Важно отметить, что статистика по подтоплениям не указывает, с какого направления наблюдался приток воды. Довольно часто их причина связана не с поднятием уровня близлежащей реки или озера, а с притоком талых вод в условиях активного нарастания температур в период снеготаяния. Особенно это характерно для бассейна р. Тобол в пределах степной зоны ввиду неразвитости эрозионно-речной сети. Таким образом, подтопления часто лишь косвенно относятся к гидрологическим явлениям, а по сути – суммарный результат сочетания ряда метеорологических явлений.

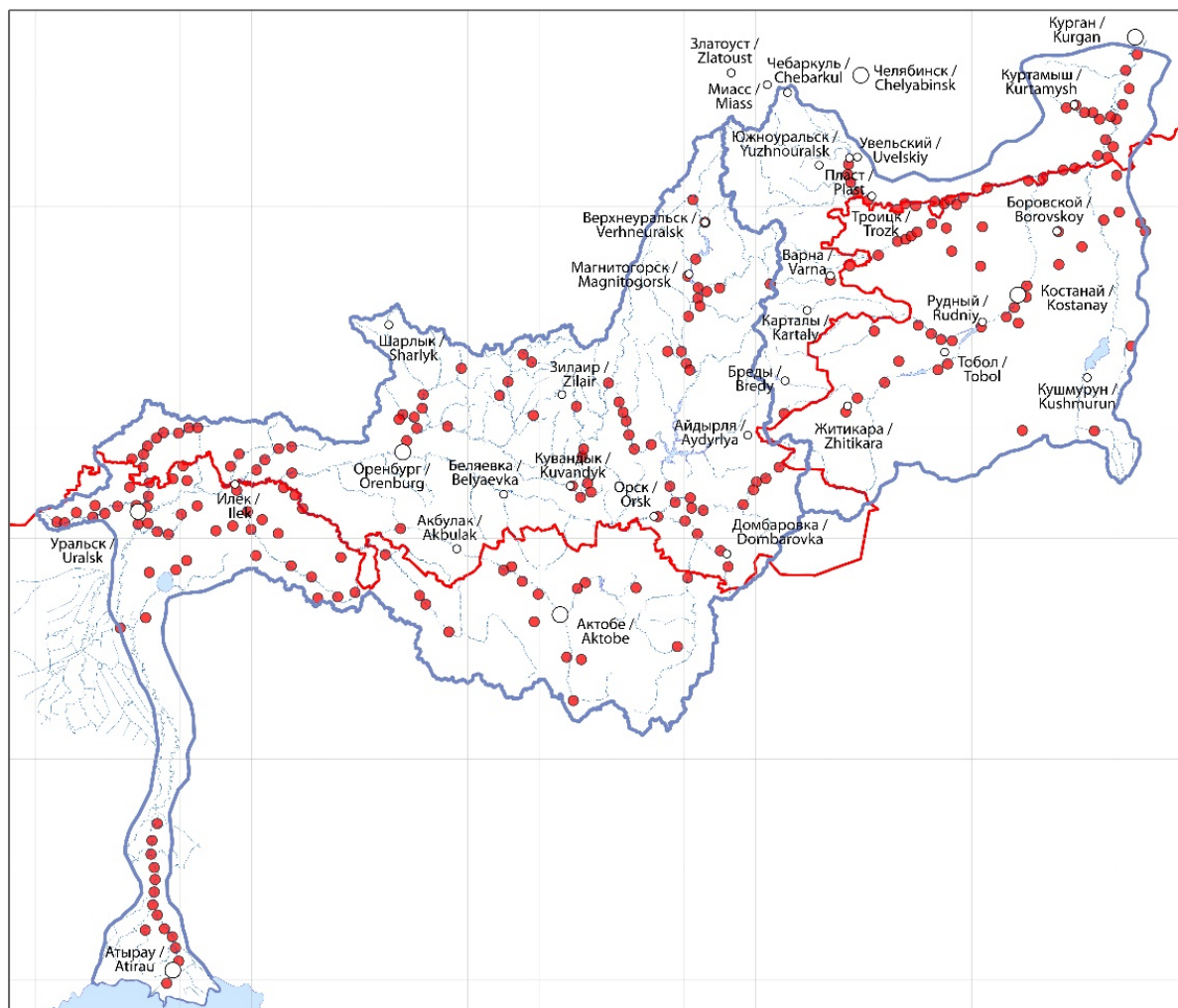


Рисунок 4. Риск затопления (подтопления) населённых пунктов в бассейнах рек Урал и Тобол:

1 – населённые пункты подверженные угрозе затопления (подтопления); 2 – государственная граница;
3 – бассейн р. Тобол; 4 – бассейн р. Урал

Figure 4. Risk of flooding of settlements in the Ural and Tobol river basins:

1 – settlements at risk of flooding; 2 – state border; 3 – Tobol River basin; 4 – Ural River basin

Еще одним примером гидроэкологических ограничений, связанных с негативным воздействием вод являются горизонтальные русловые деформации (размыв, смещение в пространстве и др.). Русловые преобразования в пределах речных долин являются одним из наиболее динамичных и повсеместно развитых экзогенных процессов. Интенсивность и направленность данных процессов закономерно изменяются во времени и тесно связаны с изменениями ряда факторов [20]. Интенсивность русловых преобразований обусловлена саморазвитием речных систем, а также воздействием изменяющихся климатических и гидрологических условий, антропогенных факторов. Наиболее интенсивные русловые деформации зафиксированы в бассейне р. Урал – р. Урал (Пехотное, Донское, Благодословенка, Илек, Жарсуат, Облавка), р. Сакмара (Рамазаново, Желтое), р. Большой Юшатырь (Биккулово) и др.

В пределах бассейна р. Тобол ключевой участок исследования русловых трансформаций имеет совокупную протяженность 314,7 км (рис. 5). Для рек выбранного участка характерна достаточно высокий коэффициент извилистости русла – 1,72. Ширина поймы

р. Уй, в пределах которой и отмечается большинство эрозионных и русловых трансформаций, находится в пределах 1,0–1,5 км, достигая максимума в низовьях, до 2,5 км. Долина р. Тобол более развита, в местах расширений достигает 7,5 км.

В итоге, результаты проведенных исследований русловых трансформаций в бассейне р. Тобол позволяют сделать следующие выводы:

- характер положения русла представляет собой чередование свободно-меандрирующих и адаптированных типов русла, при этом русло реки, в большей части течения прижато к правому борту долины, соответственно и подавляющее количество смещений его положения было направлено к этому же борту;
- основными типами русловых трансформаций является перенаправление русла реки в староречья и срезание основания меандр, сопровождающееся спрямлением русла;
- некоторые из участков развития меандр представляют собой значимую угрозу для целостности важных инфраструктурных объектов и требуют проведения работ по берегоукреплению, либо переносу объектов.

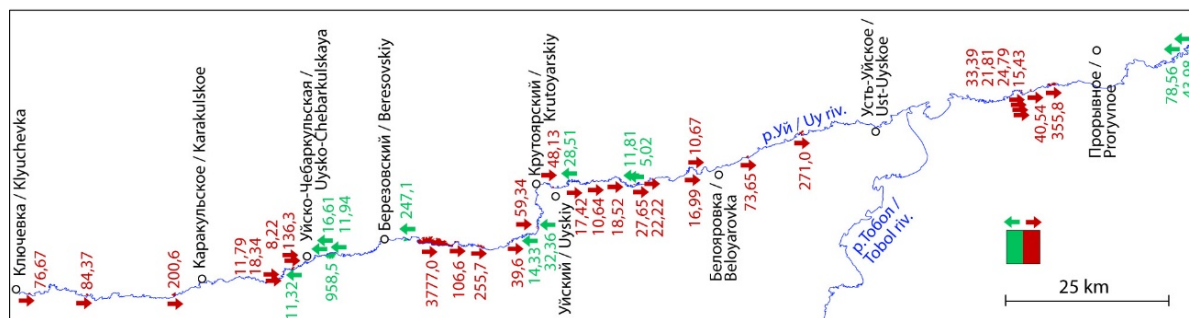


Рисунок 5. Распределение русловых трансформаций в бассейне р. Тобол (направления и площадь смещений, м²)
Figure 5. Distribution of riverbed transformations in the basin of the Tobol River (directions and displacement area, m²)

ВЫВОДЫ

В заключении необходимо отметить следующее:

1. Развитие напряженной водно-экологической ситуации в бассейнах рр. Урал и Тобол (в пределах степной зоны) обусловлено пространственно-временной изменчивостью ресурсов речного стока, формирование которых происходит в условиях недостаточного увлажнения и интенсивного антропогенного воздействия. Обращает внимание, что для отдельных регионов ситуация усугубляется в связи со значительной зависимостью от поступления транзитного стока с сопредельных территорий и государств. Необходимо учесть, что в современных условиях климатической неопределенности скорость возобновления ресурсов речного стока может снижаться, а экстремальность проявления гидрологических рисков увеличиваться.
2. Экологические ограничения водопользования, связанные с недостаточным объемом водных ресурсов нормативного качества, обусловлены в первую очередь значительной антропогенной нагрузкой на водные объекты трансграничных рр. Урал и Тобол. Основными загрязняющими веществами являются соединения тяжелых металлов (медь, цинк, марганец), поступающие в реку с импактных территорий техногенных ландшафтов (отработанные карьеры, шламохранилища и др.). Вместе с тем, источником высокого содержания отдельных элементов (например, марганец) в поверхностных водах исследуемой территории могут быть природные экосистемы степной зоны. Напряженная гидроэкологическая ситуация на отдельных гидрографических участках исследуемых бассейнов обусловлена трансграничным переносом загрязняющих веществ с территории сопредельных государств, что в свою очередь подразумевает разработку межгосударственной системы гидрохимического мониторинга трансграничных водных объектов.
3. Риски затопления (подтопления) населенных пунктов, в первую очередь связаны со стихийным освоением долинно-приречных пространств бассейнов рр. Урал и Тобол, осуществляемое без учета современной и перспективной эколого-гидрологической обстановки. В большинстве случаев подобные гидрологические ситуации, обусловлены элементарным несоблюдением гидрологических условий местности при формировании территориальной структуры расселения. В последние десятилетия на фоне длительных маловодных периодов решение о застройке долинно-приречных пространств принимаются в пределах урбанизированных территорий без учета возможных высоких уровней половодья.

4. Максимальное развитие русловых трансформаций отмечается в трансграничном бассейне р. Урал. Наиболее распространены трансформации связанные с циклами развития меандр, в ходе которых наблюдаются смещения русла под действием боковой эрозии (особенно в вершинах излучин) и спрямления русла в результате разрушения основания излучины. Некоторые из участков развития меандр представляют собой серьезную угрозу для целостности важных инфраструктурных объектов и требуют подготовки инженерных решений о вариантах берегоукрепления, либо о переносе объектов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-27-00239.

ACKNOWLEDGMENT

The study was supported by the Russian Science Foundation No. 22-27-00239.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролова Н.Л., Воробьевский И.Б. Гидроэкологические ограничения водопользования в бассейне Иртыша // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. N 6. С. 34–42.
2. Фролова Н.Л. Гидрологические ограничения природопользования // Географо-гидрологические исследования. Вопросы географии. 2012. N 133. С. 456–478.
3. Алексеевский Н.И., Анисимова Л.А., Фролова Н.Л. Современные и ожидаемые ограничения природопользования // Природообустройство. 2009. N 1. С. 50–57.
4. Сивохип Ж.Т. Устойчивое водопользование как фактор гидроэкологической безопасности в трансграничном бассейне р. Урал // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. T. 195. N 7. С. 78–84.
5. Зоны и типы растительности России и сопредельных территорий. Карта масштаба 1:8000000 / отв. ред. Огуреева Г.Н.; Геогр. факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Бот. Ин-т им. В.Л. Комарова. М., 1999.
6. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2017 году: стат. сборник / под ред. Рыбальского Н.Г., Омеляненко В.А., Думнова А.Д. М.: НИА-Природа, 2018. 230 с.
7. Охрана окружающей среды и устойчивое развитие Казахстана в 2013–2017 гг.: стат. сборник / под ред. Н.С. Айдапкелова. Астана, 2018. 123 с.

8. Маркин В.Н. Определение экологически допустимого воздействия на малые реки // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. N 4. С. 8–11.
9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области». Оренбург: Правительство Оренбургской области. 2007–2021.
10. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Курганской области». Курган: Правительство Оренбургской области. 2007–2021.
11. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан». Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан. 2007–2021 гг.
12. Доклад «Об экологической ситуации в Челябинской области». Челябинск: Министерство экологии Челябинской области. 2007–2021.
13. МЧС России. Главное управление по Курганской области. URL: <https://45.mchs.gov.ru/> (дата обращения: 25.01.2023)
14. Наводнения в России: оперативные данные МЧС о затоплениях за 2013–2020. Набор данных. URL: <https://www.data-in.ru/> (дата обращения: 15.04.2022)
15. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer> (дата обращения: 25.01.2023)
16. Давлетгалиев С.К. Оценка водных ресурсов Жайык-Каспийского бассейна по водохозяйственным участкам // Гидрометеорология и экология. 2011. N 1. С. 56–65.
17. Козлова М.А, Сивохи Ж.Т. Оценка динамики качества воды трансграничного бассейна р. Урал // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. N 6. С. 107–119. https://doi.org/10.35567/19994508_2022_6_7
18. Павлейчик В.М., Сивохи Ж.Т. Эколого-гидрологическая ситуация в бассейне р. Таналык в условиях техногенной трансформации природной среды в Южном Зауралье // Известия Самарского научного центра. 2013. T. 15. N 3(3). С. 945–948.
19. Ежемесячный информационный бюллетень о состоянии окружающей среды / Казгидромет. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchei-sredy> (дата обращения: 25.01.2023)
20. Павлейчик В.М., Сивохи Ж.Т., Падалко Ю.А. Динамика русловых процессов в среднем течении реки Урал и риски природопользования // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. N 5. С. 36–44. <https://doi.org/10.1134/S2587556618050126>
21. Prirodoobustroistvo [Nature management]. 2009, no. 1, pp. 50–57. (In Russian)
22. Sivohip Zh.T. Sustainable water use as a factor of hydroecological safety in the transboundary basin of the Ural river. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State University]. 2016, vol. 195, no. 7, pp. 78–84. (In Russian)
23. Ogureeva G.N., ed. *Zony i tipy rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territorii. Karta masshtaba 1:8000000* [Zones and types of vegetation in Russia and adjacent territories. Map scale 1:8000000]. Moscow, Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University, St. Petersburg: V.L. Komarov Botanical Institute Publ., 1999. (In Russian)
24. Rybalsky N.G., Omelianenko V.A., Dumnova A.D., eds. *Vodnye resursy i vodnoe khozyaistvo Rossii v 2017 godu: stat. sbornik* [Water resources and water management of Russia in 2017: statistical collection]. Moscow, NIA-Nature Publ., 2018, 230 p. (In Russian)
25. Aidapkelov N.S., ed. *Okhrana okruzhayushchei sredy i ustoyichivoe razvitie Kazakhstana v 2013–2017 gg.: stat. sbornik* [Environmental protection and sustainable development of Kazakhstan in 2013–2017: statistical collection]. Astana, 2018, 123 p. (In Russian)
26. Markin V.N. Determination of the environmentally acceptable impact on small rivers. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo [Melioration and water management]. 2005, no. 4, pp. 8–11. (In Russian)
27. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Orenburgskoi oblasti» [State Report «On the state and environmental protection of the Orenburg Region»]. Orenburg, Government of the Orenburg region, 2007–2021. (In Russian)
28. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Kurganskoi oblasti» [State Report «On the state and environmental protection of the Kurgan region»]. Kurgan, Government of the Orenburg region, 2007–2021. (In Russian)
29. Gosudarstvennyi doklad «O sostoyanii prirodnnykh resursov i okruzhayushchei sredy Respubliki Bashkortostan» [State report «On the state of natural resources and the environment of the Republic of Bashkortostan»]. Ufa, Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Bashkortostan, 2007–2021. (In Russian)
30. Doklad «Ob ekologicheskoi situatsii v Chelyabinskoi oblasti» [Report «On the environmental situation in the Chelyabinsk region»]. Chelyabinsk, Ministry of Ecology of the Chelyabinsk region, 2007–2021. (In Russian)
31. MChS Rossii. Glavnoe upravlenie po Kurganskoi oblasti [Ministry of Emergency Situations of Russia. The Main Directorate for the Kurgan region]. Available at: <https://45.mchs.gov.ru/> (accessed 25.01.2023)
32. Navodneniya v Rossii: operativnye dannye MChS o zatopleniyakh za 2013–2020. Nabor dannykh [Floods in Russia: operational data of the Ministry of Emergency Situations on flooding for 2013–2020. A data set]. Available at: <https://www.data-in.ru/> (accessed 04.15.2022)
33. Ministerstvo po chrezvychainym situatsiyam Respubliki Kazakhstan [Ministry of Emergency Situations of the Republic of Kazakhstan]. Available at: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer> (accessed 01.25.2023)
34. Davletgaliev S.K. Assessment of water resources of the Zhayyk-Caspian basin by water management sites. Gidrometeorologiya i ekologiya [Hydrometeorology and Ecology]. 2011, no. 1, pp. 56–65. (In Russian)

REFERENCES

1. Frolova N.L., Vorob'evskii I.B. Hydroecological restrictions of water use in the Irtysh basin. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Bulletin of the Moscow University. Series 5. Geography]. 2011, no. 6, pp. 34–42. (In Russian)
2. Frolova N.L. Hydrological restrictions of nature management. Geografo-gidrologicheskie issledovaniya. Voprosy geografii [Geographic and hydrological research. Questions of geography]. 2012, no. 133, pp. 456–478. (In Russian)
3. Alekseevskii N.I., Anisimova L.A., Frolova N.L. Modern and expected limitations of nature management.

17. Kozlova M.A., Sivokhip Zh.T. Assessment of water quality dynamics in the transboundary basin of the Ural River. *Water economy of Russia: problems, technologies, management*, 2022, no. 6, pp. 107–119. (In Russian) https://doi.org/10.35567/19994508_2022_6_7
18. Pavleichik V.M., Sivokhip Zh.T. Ecological and hydrological situation in the basin of the Tanalyk river in the conditions of technogenic transformation of the natural environment in the Southern Trans-Urals. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra* [News of the Samara Scientific Center]. 2013, vol. 15, no. 3(3), pp. 945–948. (In Russian)
19. *Ezhemesyachnyi informatsionnyi byulleten' o sostoyanii okruzhayushchei sredy* [Monthly newsletter on the state of the environment]. Kazhydromet. Available at: <https://www.kazhydromet.kz/ru/ecology/ezhemesyachnyy-informacionnyy-byulleten-o-sostoyanii-okruzhayushchei-sredy> (accessed 25.01.2023)
20. Pavleichik V.M., Sivokhip Zh.T., Padalko Yu.A. Dynamics of riverbed evolution in the middle Ural River and natural management risks. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series*, 2018, no. 5, pp. 36–44. (In Russian) <https://doi.org/10.1134/S2587556618050126>

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Жанна Т. Сивохи́п написала введение, заключение и проведен расчет водно-экологического стресса. Владимир М. Павлейчик проанализировал основные русловые трансформации в бассейнах рр. Урал и Тобол и подготовил картографический материал к статье. Александр А. Чибилёв осуществлял общее руководство подготовки статьи. Юрий А. Падалко проанализировал данные о подверженности риска затопления населенных пунктов в бассейнах рр. Урал и Тобол. Мария А. Козлова проанализировала данные о качественном составе речных вод в исследуемых бассейнах. Ольгой Б. Поповой подготовлена характеристика загрязнения р. Илек хром (6+) и бором. Все авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHORS CONTRIBUTION

Zhanna T. Sivokhip wrote the introduction, conclusion and calculation of water and environmental stress. Vladimir M. Pavleichik analysed the main riverbed transformations in the basins of the Ural and Tobol rivers of the Russian Federation and prepared the cartographic material for the article. Alexander A. Chibilev provided general guidance in the preparation of the article. Yuri A. Padalko analysed data on the exposure to the risk of flooding of settlements in the Ural and Tobol river basins of the Russian Federation. Maria A. Kozlova analysed data on the qualitative composition of river waters in the basins studied. Olga B. Popova prepared the description of chrome (6+) and boron pollution of the Ilek River. All authors are equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Жанна Т. Сивохи́п / Zhanna T. Sivokhip <https://orcid.org/0000-0001-5704-0554>
Владимир М. Павлейчик / Vladimir M. Pavleichik <https://orcid.org/0000-0002-2846-0442>
Александр А. Чибилёв / Alexander A. Chibilev <https://orcid.org/0000-0002-6214-1437>
Юрий А. Падалко / Yuri A. Padalko <https://orcid.org/0000-0003-1149-7887>
Мария А. Козлова / Maria A. Kozlova <https://orcid.org/0000-0002-7860-4643>
Ольга Б. Попова / Olga B. Popova <https://orcid.org/0009-0009-3839-6577>