

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ВИДАМ И ЧАСТОТЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Научно-практическая конференция «Вода в Центральной Азии: будущее в  
сотрудничестве»

8 ноября 2024 года, Ташкент, Узбекистан

Дмитрий Вячеславович Козлов, д.т.н., профессор, член-корреспондент РААСН  
заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ



## Введение: актуальность темы исследования

- **Водная безопасность** - **важнейший вызов современности.** Для национальной безопасности России водный фактор связан с такими источниками рисков как аварии на гидротехнических сооружениях и наводнения, вызванные опасными гидрологическими явлениями (ОГЯ).
- **В России ущерб от всех возможных** гидрометеорологических явлений составляет 80–90% от общего ущерба природного характера. **Наводнения,** вызванные половодьем, паводками, зажорными и заторными явлениями, **входят в «тройку лидеров» ОГЯ,** оказывающих «поражающее воздействие на людей, отрасли экономики и окружающую природную среду».

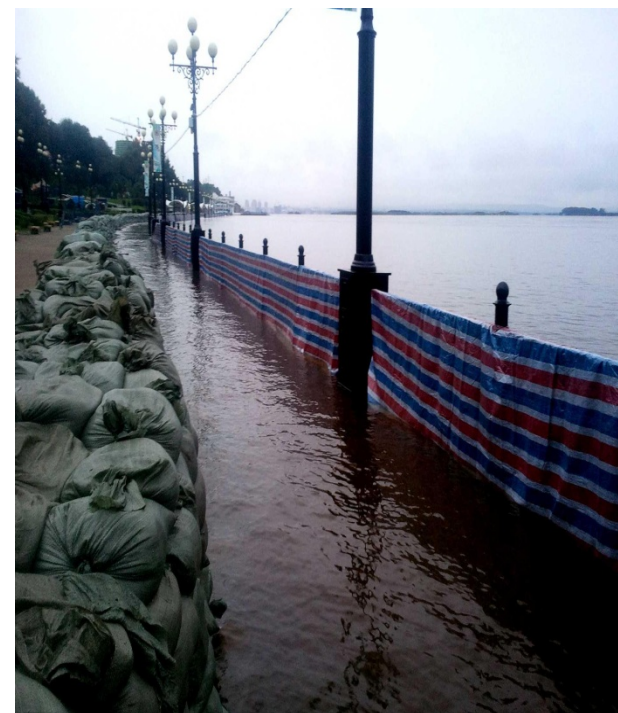
- При ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), вызванных ОГЯ, доля привлекаемого личного состава может составлять до 40% от общего числа спасателей, задействованных в борьбе с опасными природными явлениями, а доля техники доходить до 44%, что сопоставимо с силами, задействованными при крупных природных пожарах.
- Следует различать возникновение ОГЯ на той или иной территории и возникновение ОГЯ, повлекших за собой зафиксированный материальный ущерб. По данным Росгидромета **в 2023 году из 1191 ОГЯ только 38% повлекли за собой материальный ущерб.**



## Введение: актуальность темы исследования

- По результатам 3-го оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории РФ в 2022 году **сохраняется тенденция** последних десятилетий **к увеличению числа ОГЯ**.
- За период с 2011 по 2020 гг. на территории РФ более чем на 35% увеличилось количество наводнений и селей, на 15% заторных наводнений.
- Пятилетняя детализация ОГЯ по их типам в субъектах РФ выявила **тенденции возрастания числа наводнений**, обусловленных дождевыми паводками, и **числа случаев низкой межени**.

- Ввиду значительного разнообразия природно-климатических и экономических условий регионов России, ОГЯ на территории каждого из них могут значительно отличаться, следовательно, будут различными и возможные последствия возникновения ЧС, вызванные их возникновением.
- Ежегодное негативное изменение динамики видов и числа ОГЯ, повлекших за собой материальный ущерб на территории субъектов РФ, требует постоянного мониторинга, а **задача своевременного выявления структурных изменений ОГЯ – актуальной**

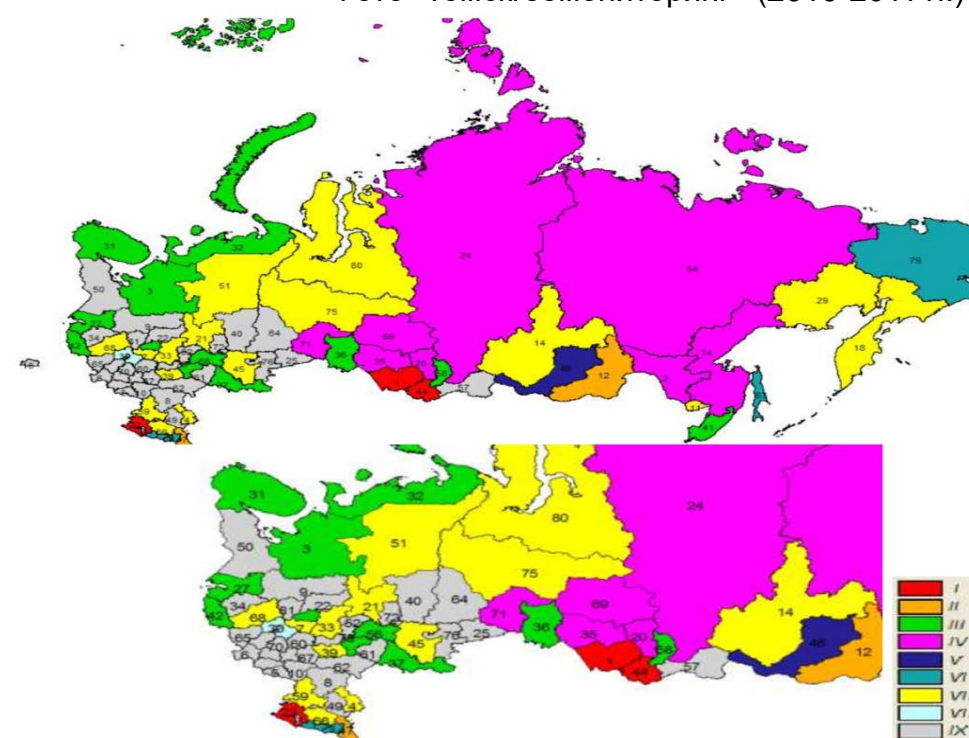




- ❑ **Исследования выполнены с целью** установления динамики числа и видов ОГЯ, возникновение которых повлекло фиксированный материальный ущерб на территории РФ и входящих в нее субъектов, выполнения повторной кластеризации регионов по спектру ОГЯ, выявлению и анализу структурных сдвигов за 2020-2023 гг. по сравнению с периодом 1991-2019 гг.
- ❑ **Практическая значимость исследований.** Полученные результаты могут быть полезны службам МЧС России; организациям, осуществляющим мониторинг состояния окружающей среды; руководителям региональных служб при подготовке информации об угрозе возникновения опасных природных явлений гидрологического характера.
- ❑ **Материалы исследований.** Специализированные массивы открытых данных «Неблагоприятные условия погоды, нанешие экономические потери» ВНИИГМИ Росгидромета за период 1991-2023 гг. Для сопоставимости результатов многолетних наблюдений в расчет включены 82 региона. Исходные данные были **представлены 2189 случаями ОГЯ**, повлекших материальные потери за 33 года наблюдений, из числа которых **14%** были зафиксированы за последние 4 года (2020-2023 гг.).



Фото "Томскгеомониторинг« (2010-2011 гг.)



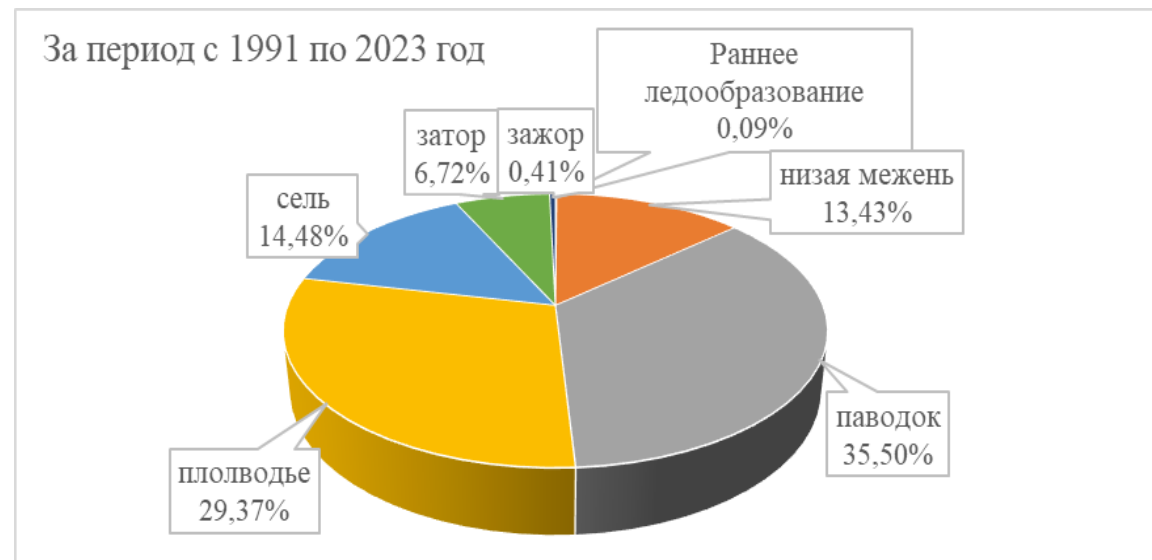
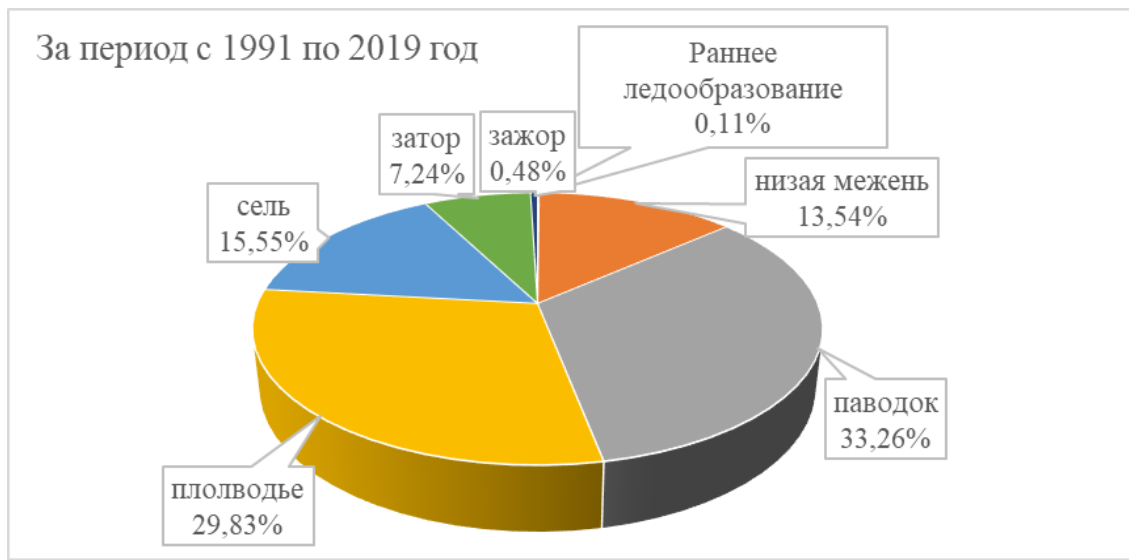
Кластеризация регионов РФ по спектру ОГЯ (1991-2019 гг.)

- **Методы исследования:** общенаучные методы (анализ и синтез), прикладные статистические методы - регрессионный и кластерный анализ; картографическое моделирование, визуализация данных.
- **Стационарность временных рядов** (временная однородность) проверялась путем построения линейного тренда вида:
$$Y = a \cdot x + b, \quad (1)$$
где  $x$  – порядковый номер года в ряду наблюдений;  $a$  и  $b$  – оценки коэффициентов уравнения регрессии, определяемые по статистическим данным;  $Y$  – ежегодное число опасных гидрологических явлений с материальным ущербом.
- По рекомендациям ГГИ вычислялась **случайная среднеквадратическая ошибка:**
$$\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{n - 1}, \quad (2)$$
где  $r$  – коэффициент корреляции;  $n$  – число лет наблюдений,  $n = 33$ .
- **Значимость тренда** проверялась по соотношению  $r/\sigma_r$ : при значении отношения 2 и более тренд являлся значимым на 5% уровне значимости, при значении отношения 3 и более тренд являлся значимым на 1% уровне значимости. Тренд признавался значимым только при выполнении двух указанных условий. В противном случае делался вывод о статистически незначимой тенденции.
- **Кластерный анализ** был выполнен методом К-средних с применением группировки на постоянных интервалах.
- Для вычислений **использован статистический пакет STATISTICA.**
- **Условием отнесения субъекта к тому или иному кластеру являлось статистически достоверное ( $p < 0.05$ ) превышение межгрупповой дисперсии над внутригрупповой.**

## Результаты и обсуждение

- За **1991-2023** гг. на территории РФ было зафиксировано **2189** ОГЯ с материальным ущербом.
- За **1991-2019** гг. число таких явлений составляло **1891** случай.
- **За 4 года** на территории РФ произошло **298** ОГЯ, повлекших материальные потери (случаи низкой межени, паводки, половодья, сели, ледовые заторы)
- **Структура ОГЯ не претерпела существенных изменений**

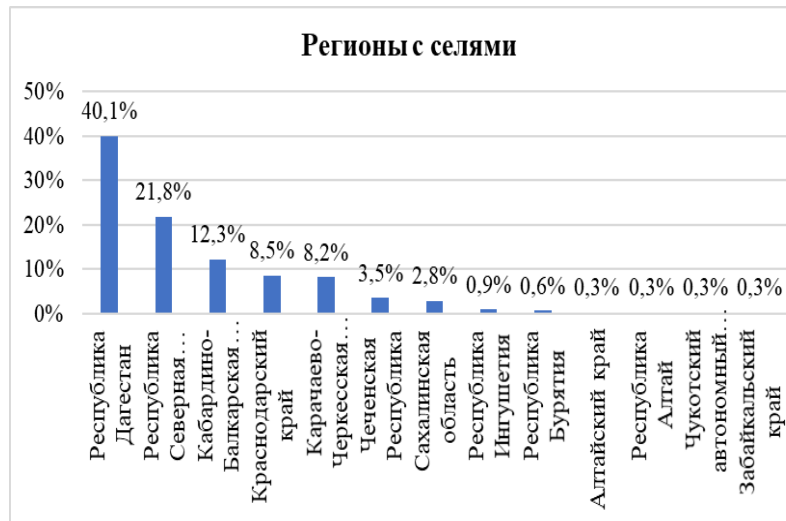
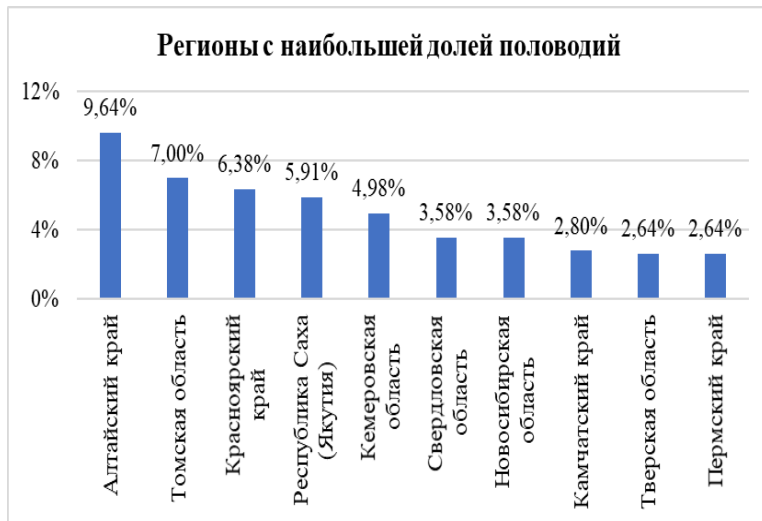
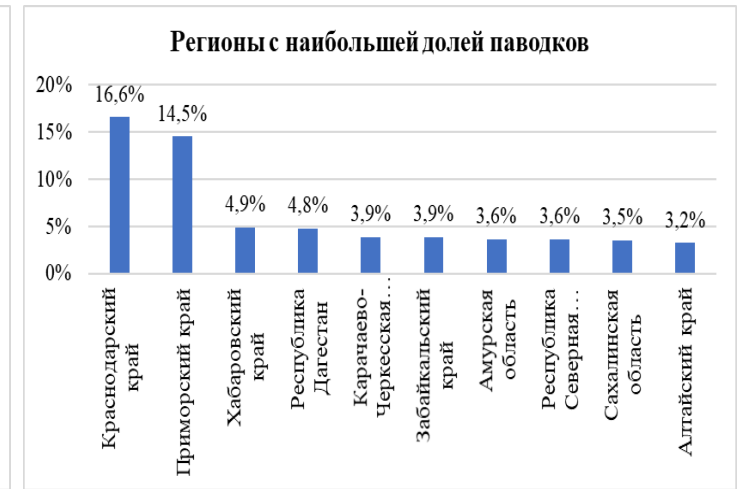
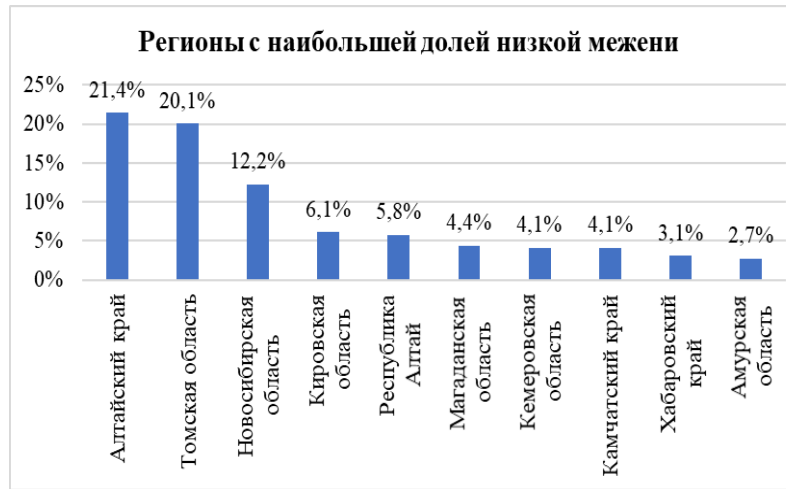
- В течение 33 лет **наиболее часто** на территории России материальные потери вызывали **паводки** (33,5% случаев) **и половодья** (23,37%), далее следовали сели (14,48%), низкая межень (13,43%) и заторы (6,72%), на долю зажоров и раннего образования льда приходилось менее 1% случаев. **За последние 4 года можно отметить рост доли паводков** на 2,23% при незначительном снижении (менее 1%) доли ОГЯ других видов в их общем числе



**Структура числа опасных гидрологических явлений за периоды наблюдений**

# Результаты и обсуждение

- **Выполнено ранжирование регионов России по доле ОГЯ** каждого вида в общем числе случаев за весь период наблюдений. Первые 10 субъектов ранжированного по убыванию ряда приведены на рисунке ниже.





- Первые десять регионов России по доле ОГЯ остались неизменными:** Алтайский край, республика Дагестан и Краснодарский край занимают первые три места в «рейтинге». По сравнению с периодом 1991-2019 гг. за последние 4 года, по-прежнему, наибольшее число случаев низкой межени повлекло материальный ущерб на территории Алтайского края, Томской и Новосибирской областей. Территории Краснодарского и Приморского краев имеют наибольшую долю паводков, Сахалинская область, ранее не входящая в число первых 10-ти регионов, заняла 9 место, Забайкальский край занял 6 место по сравнению с 8 местом в рейтинге до 2019 года.
 **Первые три региона по числу половодий – Алтайский край, Томская область и Красноярский край, до 2019 года третье место занимала Республика Саха (Якутия).**



- Наиболее часто селевые явления,** по-прежнему, наносили ущерб в республике Дагестан, Северной Осетия – Алании и Кабардино-Балкарской Республике. **В число 10 регионов, на территории которых возникали заторы льда,** вместо Оренбургской области вошел Забайкальский край.



- **Проверка стационарности временных рядов** общего числа ОГЯ с материальным ущербом и явлений каждого типа за период 1991-2023 гг. была выполнена по зависимости (2). Результаты представлены в Таблице, для удобства сравнения здесь же приведены аналогичные вычисления, приведенные в работе *Козлов-Снежко-Лагутина [МиК, 2021]* для периода с 1993 по 2019 гг.
- За период 1991-2023 гг. статистически значимым был только тренд роста общего числа ОГЯ, повлекших за собой материальный ущерб в РФ, однако скорость роста стала менее выраженной. Тренды по ОГЯ типов за последние 33 года можно считать статистически незначимыми.

Таблица 1. **Сравнение значимости линейных трендов опасных гидрологических явлений**

Виды ОГЯ	Уравнение тренда по данным 1991-2019 гг.	$r/\sigma_r$	Уравнение тренда по данным 1991-2023 гг.	$r/\sigma_r$
Затор	$y = 0,0546x + 4,4507$	0,71	$y = -0,026x + 5,3465$	0,41
Низкая межень	$y = 0,4005x + 4,1926$	2,77*	$y = 0,2173x + 6,5105$	1,77
Паводок	$y = 0,097x + 20,234$	0,37	$y = 0,3633x + 17,369$	1,75
Половодье	$y = 0,2527x + 15,658$	1,04	$y = 0,1828x + 16,377$	0,94
Сель	$y = 0,1373x + 8,3867$	0,95	$y = 0,0408x + 8,9129$	0,34
Все виды опасных гидрологических явлений	$y = 1,0128x + 50,015$	2,03*	$y = 0,8713x + 51,521$	2,26*

Примечание: \* отмечены статистически значимые тренды на уровне 5%

- Для большинства регионов России материальный ущерб наносит не один, а несколько видов **опасных гидрологических явлений**.
- Сравнительный анализ числа видов ОГЯ с материальным ущербом на рассматриваемых отрезках времени приведен в Таблице 2.

Таблица 2. **Динамика числа регионов по количеству видов опасных гидрологических явлений с материальным ущербом**

Число видов опасных гидрологических явлений с материальным ущербом	Количество регионов РФ по данным 1991-2019 гг.	% от общего числа субъектов	Количество регионов РФ по данным 1991-2023 гг.	% от общего числа субъектов
6	2	2%	2	2%
5	4	5%	4	5%
4	9	11%	11	14%
3	18	22%	19	23%
2	29	36%	28	35%
1	19	23%	17	21%



- За 2020-2023 гг. **выявлены негативные изменения в структуре распределения регионов по числу ОГЯ**, следствием которых был материальный ущерб.
- В 6-ти регионах материальные потери стали наносить гидрологические явления, ранее несвойственные этим областям.
- Если на территории **Камчатского края** до 2019 года отмечалось только 3 явления – половодья, паводки и низкие межени, то к 2023 году ущерб стали наносить такие опасные ледовые явления, как заторы льда (затор в конце мая 2021 г. на р. Оклан продолжительностью 4 дня).
- В **Московской области**, на территории которой материальный ущерб раньше наносила только низкая межень, впервые в мае и июле 2020 года были зафиксированы паводки, а в апреле 2022 года половодья с материальным ущербом, то есть вместо одного вида ОГЯ их стало три.
- На территории **Омской области** помимо половодий и заторов льда в 2022 году материальные потери стали возникать еще из-за паводков.
- В **Тверской области**, где материальные потери возникали только от паводков и половодий, в 2021 году впервые ущерб возник из-за трехдневного затора льда на р. Обша.
- В **Тульской области** в 2020 году к опасным половодьям добавились паводки.
- В **Ханты-Мансийском автономном округе** в 2020 и 2022 году впервые были зафиксированы паводки с материальным ущербом (до 2019 года в список таких явлений входили только половодья и низкая межень).



- За 2020-2023 гг. выявлена еще одна **особенность возникновения ОГЯ с материальным ущербом, связанная с ростом их интенсивности.**
- Ниже приведено отношение числа опасных гидрологических явлений за 2020-2023 гг. к их числу за 1991-2019 гг. для отдельных регионов России.
- Доля половодий за последние 4 года в **Брянской области, Республиках Алтай и Тыва** составила 40% от их числа за предыдущие 29 лет; в **Калужской области 50%, Тверской 55%, Республике Хакасия 67%.**
- В **Смоленской и Ярославской областях** число половодий за 4 последних года было равно их числу за предыдущие 29 лет (процентное отношение 100%).
- В **Республике Карелия** за последние 4 года было зафиксировано вдвое больше половодий с материальным ущербом, чем за предыдущие 29 лет (показатель 200%).
- В **Забайкальском крае** за последние 4 года зафиксировано столько же заторов льда с материальными потерями, сколько и за предыдущие 29 лет.
- В **Кировской области** за 4 года паводков с материальным ущербом было столько же, сколько за предыдущие 29 лет. В **Красноярском крае** эта величина составила 70%, в **Приморском крае - 85%.**
- В **Сахалинской области** отношение числа селей за 4 года к аналогичному показателю за 29 лет было равно 80%.

- **Изменение структуры ОГЯ за период 2020-2023 гг. должно отразиться на общей классификации субъектов РФ по числу, типам и частоте ОГЯ с зафиксированным материальным ущербом.**
- Так же, как и в исследовании [МиК, 2021] **ОГЯ укрупнились в 4 группы:** ледовые затруднения (зажоры, заторы, раннее ледообразование), высокие воды (половодья и паводки), сели, низкая межень.
- **В результате кластерного анализа получена уточненная по данным последних наблюдений карта районирования территории России по типам ОГЯ с зафиксированным материальным ущербом** (рисунок).
- Сравнение результатов кластеризации 2019 и 2023 года приведено в Таблице 3. К 2023 году на территории России не осталось ни одного региона, на территории которого материальный ущерб наносили только низкие межени (Кластер VIII), до 2019 года включительно этот кластер был занят одним субъектом – Московской областью.

**Ранжирование кластеров по числу входящих в них субъектов за период 1991-2023 гг. по сравнению с данными 1991-2019 гг. не изменилось, но число субъектов в кластерах претерпело изменения:**

- 1. **Кластер IX** (высокие воды) - 31 субъект (38,3%),
- 2. **Кластер VII** (высокие воды, низкая межень) - 14 субъектов (17,5%),
- 3. **Кластер III** (ледовые затруднения, высокие воды) - 13 субъектов (16%),
- 4. **Кластер IV** (ледовые затруднения, высокие воды, низкая межень) - 10 субъектов (12,3%),
- 5. **Кластер VI** (высокие воды, сели) - 7 субъектов (8,6%),
- 6. **Кластер I** (ледовые затруднения, высокие воды, сели, низкая межень) - 3 субъекта (3,7%),
- 7. **Кластер II** (ледовые затруднения, высокие воды, сели) - 2 субъекта (2,5%),
- 8. **Кластер V** (высокие воды, сели, низкая межень) - 1 субъект (1,2%),
- 9. **Кластер VIII** (низкая межень) - *пустой* (0%).





## Кластеризация субъектов РФ по сочетанию опасных гидрологических явлений с материальным ущербом

Таблица 3

Кластер	Виды опасных явлений на территории субъекта	Число субъектов по данным 1991-2019 гг.	% от общего числа субъектов	Число субъектов по данным 1991-2023 гг.	% от общего числа субъектов
I	ледовые затруднения, высокие воды, сели, низкая межень	3	3,7%	3	3,7%
II	ледовые затруднения, высокие воды, сели	2	2,5%	2	2,5%
III	ледовые затруднения, высокие воды	13	16,0%	13	16,0%
IV	ледовые затруднения, высокие воды, низкая межень	8	9,9%	10	12,3%
V	высокие воды, сели, низкая межень	1	1,2%	1	1,2%
VI	высокие воды, сели	7	8,6%	7	8,6%
VII	высокие воды, низкая межень	15	18,5%	14	17,3%
VIII	низкая межень	1	1,2%	0	0,0%
IX	высокие воды	31	38,3%	31	38,3%

Если материальные потери на территории региона являлись следствием не одного, а нескольких ОГЯ, целесообразно внутри каждого из кластеров выделить подкластеры, объекты которых соответствуют определенному отношению частоты возникновения явлений каждого из типов. Результаты типизации для четырех кластеров приведены в Таблице 4.

## Типизация субъектов РФ внутри кластеров по частоте опасных гидрологических явлений каждого типа

Таблица 4

Средние подкластеров	Субъекты федерации в пределах каждого подкластера
Кластер III (ледовые затруднения / высокие воды)	
26% / 74%	Ленинградская область, Псковская область, республика Татарстан
39% / 61%	Архангельская область, Ивановская область, Мурманская область, Ненецкий автономный округ, Оренбургская область, республика Хакасия
9% / 91%	Омская область, Пензенская область, Приморский край, Ульяновская область
Кластер IV (ледовые затруднения / высокие воды / низкая межень)	
8% / 40% / 52%	Новосибирская область, Томская область
6% / 79% / 15%	Амурская область, Камчатский край, Кемеровская область, Тверская область, Тюменская область, Хабаровский край
37% / 62% / 1%	Красноярский край, республика Саха (Якутия)
Кластер VI (высокие воды / сели)	
30% / 70%	Кабардино-Балкарская республика, республика Северная Осетия - Алания
60% / 40%	Карачаево-Черкесская республика, Чеченская республика
83% / 17%	республика Ингушетия, Сахалинская область, Чукотский автономный округ
Кластер VII (высокие воды / низкая межень)	
73% / 27%	Астраханская область, Иркутская область, республика Башкортостан, Ростовская область, Ямало-Ненецкий автономный округ
89% / 11%	Владимирская область, Еврейская автономная область, Ставропольский край, Ханты-Мансийский автономный округ
54% / 46%	Кировская область, Магданская область, Московская область, Нижегородская область, республика Коми

- **Сравнение типизации** (таблица 4) с результатами расчетов прошлых лет (1991-2019 гг.) показывает **изменение элементов не только между кластерами, но и внутри подкластеров.**
- В **кластере III** на территории Мурманской и Оренбургской областей, Ненецкого АО из всех ОГЯ до 2019 года материальный ущерб в среднем формировали 30% ледовых затруднений и 70% высоких вод. С учетом ЧС последних 4-х лет это отношение составляет 40% на 60%, то есть доля ледовых затруднений увеличивается при снижении доли паводков с материальным ущербом.
- К 2023 году **кластер IV** дополнился ранее на принадлежащими ему элементами – Камчатским краем и Тверской областью. Теперь материальный ущерб в этих регионах формируют в среднем 6% ледовые затруднения, 79% высокие воды и 15% случаи низкой межени. По данным 1991-2019 гг. в Тверской области в 90% ущерб возникал из-за высоких вод, в 10% вследствие низкой межени; в Камчатском крае это отношение составляло в среднем 70% и 30%, соответственно.
- В **кластере VI** ущерб формируется сочетанием таких ОГЯ, как высокие воды и сели. В пределах кластера в Ингушетии к 2023 году соотношение составило 83% к 17%, до 2019 года эта величина составляла 60% к 40%, то есть к 2023 году доля высоких вод, повлекших за собой материальный ущерб, значительно увеличилась, в то время как доля селевых явлений сократилась.
- В **кластере VII** ущерб формируется за счет возникновения таких явлений, как высокие воды и низкая межень. В подкластер со средним значением 54% на 46% по сравнению с кластеризацией 2019 года впервые попала Московская область, для которой ранее была характерна только низкая межень (ныне пустой кластер VIII). Сюда же переместились Еврейская АО и Нижегородская область, ранее принадлежащая подкластеру 70% на 30% случаев.

- Ранжирование регионов по числу ОГЯ всех видов выявило, что более 7% от общего числа происшествий приходится на Алтайский край, Дагестан и Краснодарский край. Более 20% явлений низкой межени зафиксировано в Алтайском крае и Томской области. На территории Краснодарского и Приморского краев произошло наибольшее число паводков с материальным ущербом. Регионами с наибольшей долей половодий являются Алтайский и Красноярский края, Томская область. На территории Дагестана зафиксировано 40% от общего числа селей, повлекших материальные потери, порядка 22% таких явлений зафиксировано в республике Северная Осетия-Алания. Затопления в большинстве случаев происходили на территории Красноярского края и республики Саха Якутия.
- Проверка стационарности временных рядов каждого из видов ОГЯ выявила их временную однородность. Тренд к росту общего числа ОГЯ на территории РФ значим только на 5% уровне зн-ти.
- **За последние 4 года выявлены негативные изменения в структуре распределения регионов по числу ОГЯ, следствием которых был материальный ущерб.** В 6-ти регионах материальные потери стали наносить ОГЯ, ранее несвойственные этим областям.
- За период 2020-2023 гг. выявлен рост интенсивности возникновения ОГЯ с материальным ущербом: на территории отдельных регионов число ОГЯ, зафиксированных только за последние 4 года, значительно превышало число случаев, зафиксированных за предыдущие 29 лет. Доля половодий в отдельных регионах составляла 50%, 70% и более. В Смоленской и Ярославской областях число половодий было равно их числу за предыдущие 29 лет, в Карелии - вдвое больше половодий с МУ, чем за предыдущие 29 лет (200%). В Забайкальском крае зафиксировано столько же затоплений льда с материальным ущербом, сколько и за предыдущие 29 лет.



- **Изменение структуры ОГЯ за период 2020-2023 гг. отразилось на классификации субъектов РФ по числу, типам и частоте ОГЯ с зафиксированным материальным ущербом.**
- Получена актуальная систематизированная информация и выполнено картирование регионов России по укрупненным видам ОГЯ и их сочетанию: ледовые затруднения (зажоры, заторы, раннее ледообразование), высокие воды (половодья и паводки), сели, низкая межень.
- **К 2023 году на территории РФ не осталось ни одного региона, на территории которого материальный ущерб наносили только низкие межени (Кластер VIII).**
- Регионы, на территории которых материальные потери возникали в следствие нескольких видов ОГЯ, были разбиты на подкластеры с учетом данных последних 4 лет наблюдений. Сравнение типизации, выполненной ранее, с результатами актуальных расчетов выявило изменение числа элементов не только внутри подкластеров (что объясняется общим ростом числа ОГЯ), но и между кластерами.
- **Актуализированный информационно-картографический ресурс может быть использован при определении региональных перечней и критериев опасных гидрологических явлений и подготовке информации об угрозе их возникновения.**
- **Результаты анализа могут применяться при сборе сведений о последствиях воздействия и мониторинге ОГЯ, а также для предоставления органам государственной власти и другим организациям фактических и прогностических данных об ОГЯ в целом по стране и на территории субъектов федерации.**





Supported by:



based on a decision of  
the German Bundestag



**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ !!!**

