

УКРУПНЕННЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ НА ПРИМЕРЕ р. КАМА В РАЙОНЕ г. ПЕРМИ

Т.Н. Синцова, А.А. Возняк
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Проведены статистический и кластерный анализы качества воды в контрольном и фоновом створах р. Камы (Воткинского водохранилища) относительно основного, доминирующего выпуска сточных вод г. Перми. Показана существенная однородность показателей качества воды в р. Кама в фоновом и контрольном створах г. Перми по данным наблюдений Пермского ЦГМС и ведомственного мониторинга за период более 40 лет. Рассмотрена роль техногенных и естественных факторов в формировании гидрохимического режима на данном участке р. Камы, в том числе и воздействия Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКМС).

Ключевые слова: статистический анализ, антропогенное воздействие, р. Кама, г. Пермь, Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей.

Введение

Город Пермь является крупнейшим культурным, административным и промышленным центром на р. Каме. В 200 км выше от Перми по р. Каме располагается и активно разрабатывается второе в мире по запасам калийно-магниевых руд Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКМС). В связи с этим представляет существенный интерес влияние промышленных комплексов на р. Каму в масштабах г. Перми и оценка роли техногенных и естественных факторов на ее формирование. Город Пермь, будучи крупным промышленным и административным центром, сам характеризуется значительным объемом отведения сточных вод. Основной доминирующий сброс сточных очищенных вод осуществляется через выпуск сточных вод, расположенный в 32 км ниже плотины Камской ГЭС и находящийся в подпоре от Воткинской ГЭС. Гидрологический режим данного участка определяется особенностью работы как Камской, так и Воткинской ГЭС. Характерной особенностью в районе размещения рассматриваемого водовыпуска является то, что он располагается в непосредственной близости от границ Индустриального (городского) района, Пермского (сельского) района и Кировского (городского) района (рис. 1).

Материалы и методы

Гидрохимический режим любого водного объекта носит стохастический характер и определяется достаточно сложным сочетанием естественных и антропогенных факторов. При этом в зависимости от почвенно-геохимических условий водосборной площади, условий формирования химического стока, естественного содержания химических ингредиентов он может очень существенно различаться и варьировать внутри года в весьма широком диапазоне. На гидрохимический режим р. Камы в районе г. Перми существенное влияние, в первую очередь на содержание макрокомпонентов оказывает Соликамско-Березниковский промышленный комплекс. Особенности формирования гидрохимического режима р. Камы описаны в работах [1-3]. Характерной особенностью изменений гидрохимических показателей качества воды водных объектов является то, что распределения рассматриваемых показателей качества воды, как правило, не описываются нормальным распределением [4-6], что приводит к некорректности использования параметри-

ческих показателей. В связи с этим использование традиционных методов параметрического статистического анализа в общем случае некорректно, и при использовании статистических оценок основной упор был сделан на использование непараметрических показателей. Для анализа были использованы два массива гидрохимической информации: данные наблюдений Пермского ЦГМС с 1974 по 2002 гг. и материалы ведомственного мониторинга, выполненного за период 2018-2021 гг. в пределах г. Перми (в первую очередь, данные ООО «Новогор-Прикамье»).



Рис. 1. Схема расположения выпуска сточных вод ООО «Новогор-Прикамье»

Наиболее объективный анализ статистик приоритетных показателей качества воды может быть построен при сопоставительной оценке функций распределения показателей качества воды в условно естественном состоянии и при техногенной нагрузке. В связи с этим проводится статистический анализ первичной гидрохимической информации по качеству водных масс в фоновом и контрольном створах. Данная обработка была выполнена с использованием лицензионного пакета программы STATISTICA v 10. Проведенный статистический анализ включает в себя оценку однородности рассматриваемых рядов с использованием как традиционных параметрических, так и непараметрических критериев; оценку связности рассматриваемых гидрохимических показателей качества воды с использованием как параметрических, так и непараметрических показателей; кластерного анализа; оценку функций распределений как в интегральном, так и в дифференциальном виде.

Результаты и обсуждение

Регулярные гидрохимические наблюдения в районе г. Перми проводятся с 1974 года территориальным органом Росгидромета (Пермским ЦГМС). Для сравнительной оцен-

ки влияния сброса промышленных сточных вод предприятий г. Перми исследуется химический состав воды в черте г. Перми, 0,5 км ниже плотины КамГЭС и в г. Пермь, в 16 км ниже г. Перми, 0,7 км ниже впадения р. Мулянки. В табл. 1, 2 представлены характерные концентрации загрязняющих веществ в створах р. Кама – в черте г. Перми и ниже г. Перми.

Таблица 1

Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ для р. Камы
в створе р. Кама – в черте г. Перми, 0,5 км
ниже плотины КамГЭС (1974 – 2002 гг.) (мг/л)

Месяц	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Взвешенные вещества	9,87	17,2	8,08	6,11	4,16	3,79	3,35	7,60	3,31	3,42	4,79	5,66
Сульфаты	99,3	20,5	18,4	26,7	35,5	49,0	63,1	71,8	76,8	83,6	95,5	102
Хлориды	179	26,0	17,0	21,7	31,5	39,6	60,1	82,5	100	111	113	130
Сухой остаток	638	121	91	127	170	230	296	357	399	433	486	544
Азот аммонийный	0,553	0,270	0,213	0,213	0,169	0,154	0,215	0,164	0,193	0,328	0,407	0,419
Азот нитратный	0,508	0,325	0,168	0,073	0,087	0,096	0,112	0,193	0,287	0,416	0,484	0,627
Азот нитритный	0,065	0,035	0,012	0,008	0,013	0,005	0,007	0,007	0,008	0,014	0,014	0,027
Железо общ.	1,010	1,001	0,657	0,475	0,396	0,359	0,306	0,290	0,358	0,533	0,406	0,528
Фосфаты	0,014	0,023	0,003	0,004	0,002	0,005	0,007	0,006	0,013	0,002	0,004	0,009
БПК ₅	2,34	2,29	1,67	1,55	1,25	1,29	1,46	1,92	1,75	2,10	2,26	2,28
Нефтепродукты	0,486	0,362	0,106	0,135	0,077	0,110	0,091	0,082	0,080	0,088	0,130	0,136
АСПАВ	0,066	0,030	0,016	0,025	0,039	0,022	0,023	0,027	0,029	0,028	0,030	0,056
Медь	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004
Цинк	0,012	0,015	0,013	0,014	0,010	0,008	0,011	0,011	0,010	0,007	0,009	0,009
Никель	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000	0,0002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Хром общий	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Фенол	0,005	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004

Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ в створах: р. Кама – в черте г. Перми, 0,5 км ниже плотины КамГЭС и р. Кама – г. Пермь, 16 км ниже города, 0,7 км ниже впадения р. Мулянки были рассчитаны как средние значения по каждому месяцу из данных гидрохимических наблюдений за весь период, соответственно, 1974-2002 и 1986-2000 гг.

Таблица 2

Среднемесячные концентрации загрязняющих веществ для р. Камы
в створе р. Кама – г. Пермь, 16 км ниже города, 0,7 км
ниже впадения р. Мулянки (1986 – 2000 гг.) (мг/л)

Месяц	Весна			Лето-осень					Зима			
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III
Взвешенные вещества	12,6	10,9	10,2	8,95	7,30	5,63	4,45	4,10	3,78	3,78	5,03	7,33
Сульфаты	125	26,2	21,1	35,0	46,8	60,5	70,0	-	-	97,1	76,5	112
Хлориды	90,9	23,7	12,6	14,5	18,4	31,8	56,6	-	-	63,4	98,8	116
Сухой остаток	532	134	93,6	149	187	245	304	-	-	401	417	535
Азот аммонийный	0,838	0,279	0,168	0,193	0,096	0,130	0,125	0,148	0,380	0,446	0,420	0,578
Азот нитратный	1,74	0,397	0,139	0,064	0,070	0,093	0,163	0,273	0,708	0,926	0,864	1,005
Азот нитритный	0,177	0,009	0,004	0,008	0,005	0,005	0,015	0,007	0,018	0,016	0,025	0,028
Железо общ.	0,440	0,912	0,711	0,565	0,250	-	0,458	-	-	0,290	0,340	0,473
Фосфаты	0,014	0,005	0,004	0,000	0,012	0,010	0,021	-	-	0,008	0,024	0,057
БПК ₅	3,26	2,40	2,27	1,67	1,44	1,62	1,50	1,96	2,55	2,81	2,15	2,57
Нефте-продукты	0,125	0,063	0,055	0,199	0,063	0,072	0,066	0,074	0,101	0,058	0,049	0,078
АСПАВ	0,060	0,026	0,022	0,028	0,030	0,028	0,015	-	-	0,020	0,030	0,036
Медь	0,005	0,004	0,003	0,004	0,008	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004
Цинк	0,012	0,014	0,007	0,010	0,008	0,007	0,010	0,012	0,008	0,008	0,009	0,010
Никель	0,002	0,002	0,000	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001	0,001	0,003	0,000	0,004
Хром общий	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002
Фенол	0,014	0,002	0,004	0,040	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,006

- Для оценки однородности показателей качества воды в фоновом створе были взяты:
- данные наблюдений Пермского ЦГМС с 1974 по 2002 гг., в качестве фонового створа взят створ – г. Пермь – в черте г. Перми, 0,5 км ниже плотины КамГЭС;
 - материалы ведомственного мониторинга за период 2018-2021 гг., в качестве фонового створа – фоновый створ выпуска сточных вод ООО «Новогор-Прикамье».

Данные наблюдений Пермского ЦГМС за период 1974-2002 гг. взяты как первая группа рассматриваемой выборки исходных данных, данные наблюдений ООО «Новогор-Прикамье» за период 2018-2021 гг. – как вторая группа этой выборки. Как было отмечено, в данной работе использовались как традиционные параметрические критерии (критерий Стьюдента и Фишера), так и непараметрические (критерий Манн-Уитни). Результаты проверки рядов гидрохимических показателей на однородность приведены в таблицах 3 и 4. Как следует из таблицы 3, колебания 60% всех показателей качества воды в фоновом створе по данным ЦГМС и ООО «Новогор-Прикамье» достаточно стабильны, и данные за два временных периода, согласно проверке по параметрическим критериям, могут рассматриваться как однородные ряды, кроме сульфатов, хлоридов, железа общего, БПК₅, меди, никеля и хрома общего. Однако, как показывает таблица 4, при использовании для оценки непараметрических критериев менее 30% всех показателей качества воды в фоновом створе по данным ЦГМС и ООО «Новогор-Прикамье» проходят проверку на однородность.

Таблица 3

Оценка однородности показателей качества воды в фоновом створе по данным ЦГМС за период 1974-2002 гг. (1 группа) и по данным ООО «Новогор-Прикамье» за 2018-2021 гг. (2 группа) с использованием параметрических критериев Стьюдента и Фишера

Название вещества	Среднее значение 1 группа	Среднее значение 2 группа	Критерий Стьюдента	Степень свободы	Уровень значимости	Объем выборки 1 группа	Объем выборки 2 группа	Среднеквадратическое отклонение 1 группа	Среднеквадратическое отклонение 2 группа	Критерий Фишера	Уровень значимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Взвешенные вещества	6,73	4,94	1,23	200	0,220	175	27	7,55	1,56	23,4	0,000
Сульфаты	56,4	30,0	3,65	197	0,000	172	27	36,9	18,2	4,11	0,0001
Хлориды	67,5	35,3	2,99	197	0,003	172	27	54,9	27,4	4,02	0,0001
Сухой остаток	295	228	1,76	197	0,079	172	27	191	114	2,82	0,003
Азот аммонийный	0,272	0,314	-1,24	229	0,217	204	27	0,179	0,044	16,8	0,000
Азот нитратный	0,277	0,219	1,17	228	0,242	203	27	0,242	0,252	1,09	0,718
Азот нитритный	0,018	0,010	0,858	228	0,392	203	27	0,050	0,000	0,000	1,000
Железо общ.	0,562	0,369	2,591	194	0,010	169	27	0,372	0,273	1,850	0,066
Фосфаты	0,009	0,013	-0,688	130	0,493	105	27	0,033	0,004	63,5	0,000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
БПК ₅	1,85	1,10	3,77	297	0,000	272	27	1,04	0,210	24,5	0,000
Нефте-продукты	0,167	0,043	1,11	277	0,267	252	27	0,582	0,008	5070	0,000
АСПАВ	0,032	0,017	1,85	174	0,066	149	27	0,042	0,008	31	0,000
Медь	0,004	0,010	-13,0	286	0,000	261	27	0,003	0,000	0,000	1,000
Цинк	0,011	0,009	0,722	294	0,471	269	27	0,011	0,008	1,93	0,046
Никель	0,001	0,015	-22,6	168	0,000	143	27	0,003	0,000	0,000	1,000
Хром общий	0,001	0,018	-28,9	167	0,000	142	27	0,002	0,005	9,209	0,000
Фенол	0,003	0,001	1,64	286	0,102	262	26	0,005	0,001	27,5	0,000

Данные таблицы 3 позволяют провести также сравнительный анализ возможного изменения качества воды за последние двадцать лет. Так, в колебаниях содержания таких ингредиентов, как взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, сухой остаток, азот нитратный, азот нитритный, железо общее, БПК₅, АСПАВ, нефтепродукты, цинк, фенолы, наблюдается определенная тенденция к снижению. Еще в работах [2-5] было показано, что перечисленные ингредиенты являются характерными для сточных вод предприятий Соликамско-Березниковского промузла и г. Перми. Снижение этих показателей в последние годы показывает, что проводимые водоохранные мероприятия на данной территории дают свои определенные результаты. Согласно таблице 3, содержание таких ингредиентов как медь, никель, хром общий имеют тенденцию к их некоторому росту с течением времени, что объясняется значительным вкладом естественных природных факторов их формирования, поскольку для промышленных предприятий Пермского края они не характерны.

Таблица 4

Оценка однородности показателей качества воды в фоновом створе по данным ЦГМС за период 1974-2002 гг. (1 группа) и по данным ООО «Новогор-Прикамье» за 2018-2021 гг. (2 группа) с использованием непараметрического критерия однородности Манна-Уитни

Название вещества	Сумма рангов 1 группа	Сумма рангов 2 группа	Критерий Манна-Уитни 1 группа	Уровень значимости 1 группа	Критерий Манна-Уитни 2 группа	Уровень значимости 2 группа	Объем выборки 1 группа	Объем выборки 2 группа	2-сторонний уровень значимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Взвешенные вещества	17815	2689	0,182	0,855	0,182	0,855	175	27	0,855
Сульфаты	18208	1693	3,62	0,0003	3,62	0,0003	172	27	0,0002
Хлориды	18043	1858	3,03	0,002	3,03	0,002	172	27	0,002
Сухой остаток	17541	2360	1,22	0,222	1,22	0,222	172	27	0,222
Азот аммонийный	22624	4172	-3,19	0,001	-3,19	0,001	204	27	
Азот нитратный	23960	2605	1,58	0,114	1,58	0,114	203	27	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Азот нитритный	22772	3794	-2,08	0,038	-2,08	0,037	203	27	
Железо общ.	17404	1902	2,77	0,006	2,77	0,006	169	27	0,005
Фосфаты	6058	2721	-5,22	0,0000002	-5,34	0,0000001	105	27	0,000
БПК ₅	42702	2148	4,44	0,00001	4,44	0,00001	272	27	
Нефте-продукты	36370	2690	2,73	0,006	2,74	0,006	252	27	
АСПАВ	14001	1576	3,34	0,001	3,35	0,001	149	27	0,000678
Медь	34407	7209	-8,03	0,000	-8,09	0,000	261	27	
Цинк	40150	3807	0,478	0,633	0,478	0,633	269	27	
Никель	10350	4185	-8,00	0,000	-9,96	0,000	143	27	0,000
Хром общий	10183	4182	-8,09	0,000	-8,27	0,000	142	27	0,000
Фенол	38026	3590	0,411	0,681	0,420	0,674	262	26	

Аналогичная статистическая обработка гидрохимической информации была выполнена также для двух контрольных створов: по данным наблюдений ПЦГМС за период 1986-2000 гг. и ведомственного мониторинга ООО «Новогор-Прикамье» за 2018-2021 гг., представленная в таблицах 5, 6. Для контрольного створа наблюдений ПЦГМС взят створ – г. Пермь, в 16 км ниже г. Перми, 0,7 км ниже впадения р. Мулянки, для контрольного створа – контрольный створ выпуска сточных вод ООО «Новогор-Прикамье». Как видно из таблицы 5, колебания более 53% всех показателей качества воды в контрольном створе устойчивы, исключение составляют сульфаты, азот нитратный, железо общее, БПК₅, АСПАВ, медь, никель, хром общий.

Таблица 5

Оценка однородности показателей качества воды в контрольном створе по данным ЦГМС за период 1986-2000 гг. (1 группа) и по материалам ООО «Новогор-Прикамье» за 2018-2021 гг. (2 группа) с использованием параметрических критериев Стьюдента и Фишера

Название вещества	Среднее значение 1 группа	Среднее значение 2 группа	Критерий Стьюдента	Степень свободы	Уровень значимости	Объем выборки 1 группа	Объем выборки 2 группа	Среднеквадратическое отклонение 1 группа	Среднеквадратическое отклонение 2 группа	Критерий Фишера	Уровень значимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Взвешенные вещества	6,86	4,83	1,81	157	0,071	132	27	5,74	1,42	16,3	0,000
Сульфаты	58,7	29,6	3,49	77	0,0008	52	27	41,4	17,5	5,61	0,00001
Хлориды	49,5	35,4	1,52	77	0,132	52	27	43,8	27,8	2,49	0,014
Сухой остаток	269	229	1,02	77	0,311	52	27	185	115	2,56	0,011
Азот аммонийный	0,312	0,313	-0,014	109	0,989	84	27	0,259	0,037	50,1	0,000

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Азот нитратный	0,501	0,226	2,58	108	0,011	83	27	0,525	0,290	3,28	0,001
Азот нитритный	0,022	0,010	1,10	109	0,273	84	27	0,058	0,000	0,000	1,00
Железо общ.	0,596	0,366	3,44	77	0,001	52	27	0,284	0,278	1,046	0,925
Фосфаты	0,019	0,013	0,932	77	0,354	52	27	0,034	0,004	65,3	0,000
БПК ₅	2,21	1,17	3,86	162	0,0002	137	27	1,38	0,409	11,4	0,000
Нефте-продукты	0,084	0,040	1,73	164	0,085	139	27	0,133	0,000	0,000	1,00
АСПАВ	0,028	0,018	3,48	72	0,0009	47	27	0,014	0,008	2,64	0,01
Медь	0,004	0,010	-5,96	162	0,000	137	27	0,005	0,000	0,000	1,00
Цинк	0,009	0,008	1,13	160	0,258	135	27	0,007	0,005	1,976	0,045
Никель	0,002	0,015	-20,3	160	0,000	135	27	0,003	0,000	0,000	1,00
Хром общий	0,002	0,018	-28,5	163	0,000	138	27	0,002	0,005	5,00	0,000
Фенол	0,007	0,001	0,789	163	0,431	139	26	0,039	0,001	1824	0,000

Однако, как показывает таблица 6, более 70% всех показателей качества воды в контрольном створе по данным ЦГМС и ООО «Новогор-Прикамье» не проходят проверку на однородность, также как и в фоновом створе (табл. 4).

В то же время можно выделить ряд показателей качества воды, которые имеют аналогичную тенденцию к снижению содержания в воде в контрольном створе за последнее время (2018-2021 гг.), также как и в фоновом створе: взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, сухой остаток, азот нитратный, азот нитритный, железо общее, БПК₅, АСПАВ, нефтепродукты, цинк, фенолы, кроме фосфатов, содержание которых имеет тенденцию к уменьшению только в контрольном створе, что говорит о нормативной очистке данного показателя на биологических очистных сооружениях (БОС) сточных вод ООО «Новогор-Прикамье». Соответственно, содержание таких показателей качества воды, как медь, никель, хром общий имеет тенденцию к их некоторому росту в контрольном створе с течением времени (за период 2018-2021 гг.), что также аналогично ситуации с поведением данных веществ в фоновом створе.

Таблица 6

Оценка однородности показателей качества воды в контрольном створе по данным ЦГМС за период 1986-2000 гг. (1 группа) и по материалам ООО «Новогор-Прикамье» за 2018-2021 гг. (2 группа) с использованием непараметрического критерия однородности Манна-Уитни

Название вещества	Сумма рангов 1 группа	Сумма рангов 2 группа	Критерий Манна-Уитни 1 группа	Уровень значимости 1 группа	Критерий Манна-Уитни 2 группа	Уровень значимости 2 группа	Объем выборки 1 группа	Объем выборки 2 группа	2-сторонний уровень значимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Взвешенные вещества	10786	1935	1,03	0,302	1,033	0,302	132	27	0,303

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Сульфаты	2374	786	3,03	0,002	3,03	0,002	52	27	0,002
Хлориды	2158	1003	0,796	0,426	0,796	0,426	52	27	0,426
Сухой остаток	2100	1061	0,196	0,844	0,196	0,844	52	27	0,841
Азот аммонийный	4394	1823	-2,13	0,033	-2,14	0,032	84	27	0,032
Азот нитратный	4926	1179	2,22	0,027	2,22	0,027	83	27	0,026
Азот нитритный	4677	1539	-0,182	0,855	-0,185	0,853	84	27	0,856
Железо общ.	2400	760	3,30	0,001	3,30	0,001	52	27	0,001
Фосфаты	1805	1355	-2,84	0,005	-2,89	0,004	52	27	0,004
БПК ₅	12395	1136	4,84	0,000	4,84	0,000	137	27	0,000
Нефте-продукты	12147	1715	2,36	0,018	2,38	0,017	139	27	0,018
АСПАВ	2095	681	3,72	0,0002	3,75	0,0002	47	27	0,000
Медь	9548	3983	-7,78	0,000	-7,86	0,000	137	27	0,000
Цинк	11196	2007	0,867	0,386	0,868	0,385	135	27	0,388
Никель	9261	3942	-7,82	0,000	-9,06	0,000	135	27	0,000
Хром общий	9618	4077	-8,08	0,000	-8,20	0,000	138	27	0,000
Фенол	12006	1689	2,10	0,036	2,11	0,035	139	26	0,036

Также была проведена оценка однородности показателей качества воды в контрольном и фоновом створах за весь период наблюдений, включая данные Пермского ЦГМС и материалы ООО «Новогор-Прикамье» с 1974-2002 гг. по 2018-2021 гг., представленная в таблицах 7, 8. Рассматриваемые выборки были разбиты на две равные группы: первая группа – фоновый створ, вторая группа – контрольный створ. Колебания практически всех показателей качества воды в контрольном и фоновом створах однородны по параметрическим критериям Стьюдента и Фишера, кроме хлоридов, азот нитратного и БПК₅ (табл. 7), а по непараметрическому критерию Манна-Уитни не стабильны только хлориды, фосфаты и фенолы (табл. 8), а большинство показателей качества воды проходят проверку на однородность.

Таблица 7

Оценка однородности показателей качества воды в фоновом (1 группа) и контрольном (2 группа) створах с использованием параметрических критериев Стьюдента и Фишера

Название вещества	Среднее значение 1 группа	Среднее значение 2 группа	Критерий Стьюдента	Степень свободы	Уровень значимости	Объем выборки 1 группа	Объем выборки 2 группа	Среднеквадратическое отклонение 1 группа	Среднеквадратическое отклонение 2 группа	Критерий Фишера	Уровень значимости
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Взвешенные вещества	6,49	6,51	-0,027	359	0,978	202	159	7,07	5,32	1,77	0,0002
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Сульфаты	52,8	48,8	0,835	276	0,405	199	79	36,1	37,6	1,09	0,644
Хлориды	63,1	44,7	2,79	276	0,006	199	79	53,1	39,4	1,81	0,003
Сухой остаток	286	255	1,29	276	0,199	199	79	183	164	1,24	0,271
Азот аммонийный	0,277	0,312	-1,62	340	0,106	231	111	0,169	0,225	1,78	0,0003
Азот нитратный	0,270	0,434	-4,10	338	0,000	230	110	0,243	0,492	4,09	0,000
Азот нитритный	0,017	0,019	-0,375	339	0,708	230	111	0,047	0,050	1,17	0,315
Железо общ.	0,535	0,517	0,393	273	0,695	196	79	0,365	0,301	1,48	0,050
Фосфаты	0,010	0,017	-1,79	209	0,075	132	79	0,030	0,028	1,17	0,451
БПК ₅	1,79	2,04	-2,25	461	0,025	299	164	1,019	1,331	1,70	0,000
ХПК	30,3	30,3	0,051	52	0,959	27	27	6,29	5,86	1,15	0,720
Нефте-продукты	0,155	0,077	1,79	443	0,074	279	166	0,554	0,123	20,4	0,000
АСПАВ	0,029	0,024	1,16	248	0,248	176	74	0,039	0,013	9,25	0,000
Медь	0,004	0,005	-1,51	450	0,131	288	164	0,003	0,005	3,17	0,000
Цинк	0,011	0,009	1,51	456	0,131	296	162	0,011	0,007	2,35	0,000
Никель	0,003	0,004	-0,899	330	0,369	170	162	0,006	0,006	1,00	0,997
Хром общий	0,004	0,005	-0,750	332	0,454	169	165	0,007	0,007	1,03	0,841
Хром +6	0,853	0,890	-0,398	52	0,692	27	27	0,358	0,317	1,28	0,536
Свинец	0,019	0,020	-0,982	53	0,331	28	27	0,003	0,000	0,00	1,000
Фенол	0,002	0,006	-1,70	451	0,090	288	165	0,005	0,036	57,9	0,000
НПАВ	0,187	0,168	0,511	50	0,611	26	26	0,142	0,118	1,43	0,374
Алюминий	0,130	0,101	1,02	53	0,311	28	27	0,130	0,070	3,45	0,002
Кобальт	0,005	0,005	-0,982	53	0,331	28	27	0,001	0,000	0,00	1,000

Как следует из таблиц 7, 8, содержание большинства показателей качества воды, таких как взвешенные вещества, сульфаты, сухой остаток, азот аммонийный, азот нитритный, БПК₅, ХПК, АСПАВ, медь, цинк, никель, хром общий, свинец, фенолы, НПАВ, алюминий, кобальт, практически не изменились в течение всего периода наблюдений с 1974-2002 гг. по 2018-2021 гг. как в фоновом, так и в контрольном створах. Содержание азота нитратного в контрольном створе увеличивается, а концентрация хлоридов уменьшается, что подтверждается проведенным анализом содержания данных веществ в контрольном и фоновом створах из таблиц 3-6.

Для наглядности изменения состава вод были построены графики интегральных функций распределения по рассматриваемым створам на р. Кама по объединенным данным ведомственного мониторинга ООО «Новогор-Прикамье» и материалам ПЦГМС за весь период наблюдений с 1974-2002 гг. по 2018-2021 гг. (рисунки 2а, 2б). Из контролируемых наблюдениями ведомственного мониторинга ООО «Новогор-Прикамье» и материалами Пермского ЦГМС показателей качества воды наиболее характерными являются хлориды и азот нитратный. Содержание в воде хлоридов и азот нитратного в фоновом и контрольном створах не превышает установленные нормативы качества воды (ПДК_{р/х}).

Таблица 8

Оценка однородности показателей качества воды в фоновом (1 группа)
и контрольном (2 группа) створах с использованием непараметрического
критерия однородности Манна-Уитни

Название вещества	Сумма рангов 1 группа	Сумма рангов 2 группа	Критерий Манна-Уитни 1 группа	Уровень значимости 1 группа	Критерий Манна-Уитни 2 группа	Уровень значимости 2 группа	Объем выборки 1 группа	Объем выборки 2 группа	2-сторонний уровень значимости
Взвешенные вещества	35568	29774	-1,010	0,313	-1,010	0,312	202	159	
Сульфаты	28437	10344	1,118	0,264	1,118	0,264	199	79	
Хлориды	29515	9267	2,900	0,004	2,900	0,004	199	79	
Сухой остаток	28443	10339	1,127	0,260	1,127	0,260	199	79	
Азот аммонийный	38908	19746	-0,828	0,408	-0,829	0,407	231	111	
Азот нитратный	37904	20067	-1,546	0,122	-1,546	0,122	230	110	
Азот нитритный	38242	20069	-1,275	0,202	-1,282	0,200	230	111	
Железо общ.	26887	11064	-0,270	0,787	-0,270	0,787	196	79	
Фосфаты	13154	9212	-1,951	0,051	-1,992	0,046	132	79	
БПК5	67213	40204	-1,565	0,118	-1,566	0,117	299	164	
ХПК	751	734	0,138	0,890	0,139	0,890	27	27	0,891
Нефтепродукты	64451	34784	1,702	0,089	1,709	0,087	279	166	
АСПАВ	22233	9142	0,277	0,782	0,278	0,781	176	74	
Медь	64413	37965	-0,613	0,540	-0,618	0,536	288	164	
Цинк	68485	36627	0,408	0,684	0,408	0,683	296	162	
Никель	27321	27957	-1,125	0,261	-1,348	0,178	170	162	
Хром общий	26744	29202	-1,772	0,076	-1,802	0,072	169	165	
Хром +6	729	756	-0,225	0,822	-0,387	0,699	27	27	0,824
Свинец	771	770	-0,219	0,827	-0,946	0,344	28	27	0,822
Фенол	62221	40611	-2,353	0,019	-2,387	0,017	288	165	
НПАВ	718	660	0,522	0,602	0,523	0,601	26	26	0,605
Алюминий	826	714	0,699	0,485	0,700	0,484	28	27	0,488
Кобальт	771	770	-0,219	0,827	-0,946	0,344	28	27	0,822

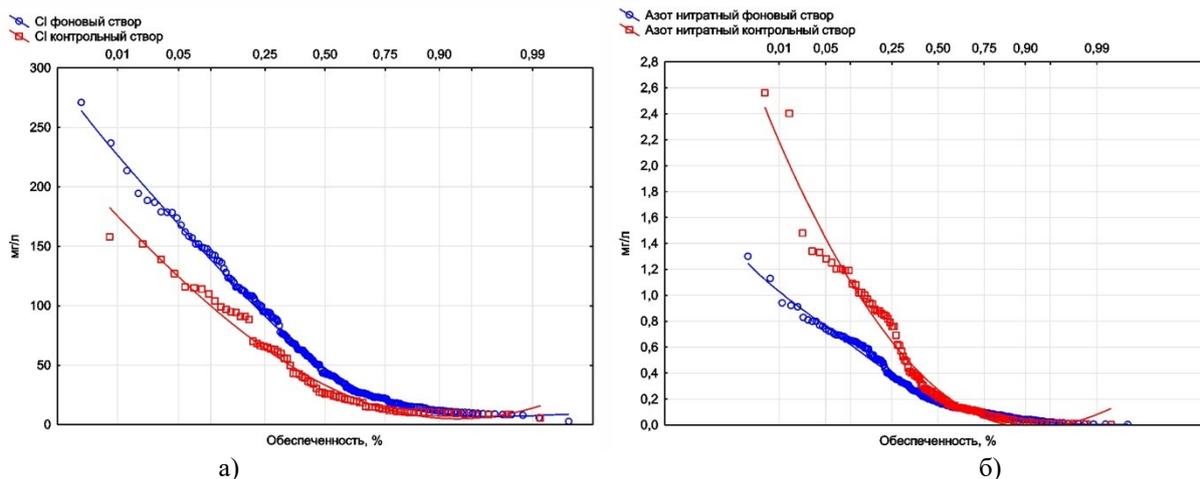


Рис. 2. Интегральная функция распределения концентрации хлоридов (а) и азот нитратного (б) в фоновом и контрольном створах (ПДКр/х хлоридов = 300 мг/л, ПДКр/х азот нитратного = 9,029 мг/л)

Для анализа связности изменений рассматриваемых показателей качества воды представлены дендрограммы результатов кластерного анализа. Результаты кластерного анализа (рисунки 3а, 3б) демонстрируют образование отдельных кластеров как в фоновом, так и контрольном створах. В фоновом и в контрольном створах наиболее отчетливо выделяются два кластера: первый, включающий < азот нитратный, сухой остаток, хлориды, сульфаты >, второй, включающий < хром общий, никель, медь >.

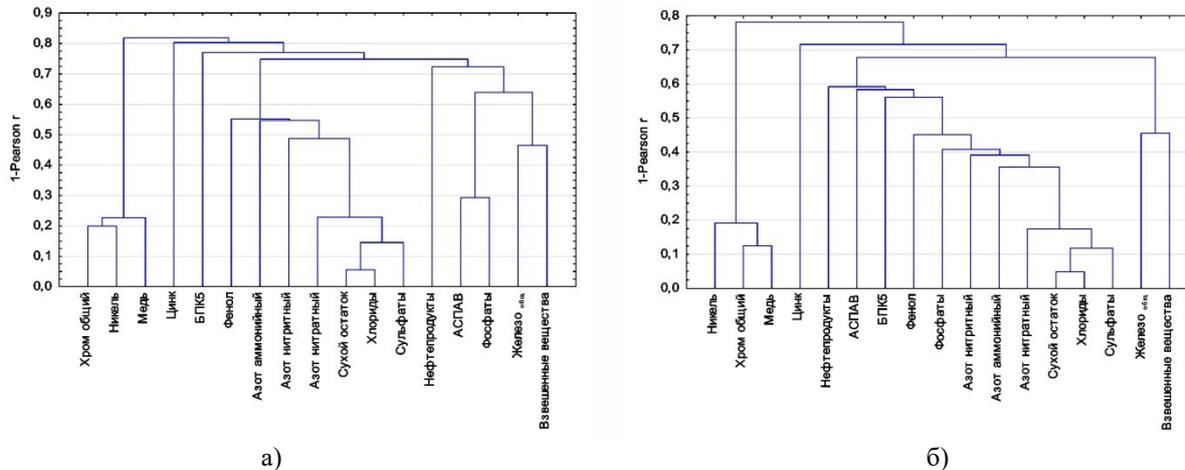


Рис. 3. Дендограмма результатов кластерного анализа химического показателя воды с использованием критерия близости Пирсона в фоновом (а) и контрольном (б) створах

Формирование отдельных обособленных кластеров качества воды в фоновом и контрольном створах указывает на близость изменений входящих в них химических веществ, наглядно демонстрируя минимальное влияние стоков, отводимых ООО «Новогор-Прикамье» в пределах г. Перми, на качество воды в контрольном створе.

Выводы

Выполненный статистический анализ однородности показателей качества воды позволил дать характеристику изменения качества воды в фоновом и контрольном створах р. Камы в пределах г. Перми.

Показана существенная стабильность контролируемых показателей качества воды как в контрольном, так и в фоновом створах, что указывает на значительную роль в формировании гидрохимического режима р. Камы в районе г. Перми естественных факторов.

Проведенный кластерный анализ материалов показал, что как в фоновом, так и контрольном створах наиболее отчетливо выделяются два кластера: первый, включающий < азот нитратный, сухой остаток, хлориды, сульфаты >, второй, включающий < хром общий, никель, медь >. Сохранение и близость доминирующих кластеров качества воды в фоновом и контрольном створах достаточно наглядно демонстрируют минимальное воздействие промышленного комплекса г. Перми на качество воды в р. Каме.

Для повышения экологического благополучия р. Камы представляется необходимым разработка и внедрение автоматизированной системы контроля за качеством воды в отводимых стоках, а также состоянием воды в контрольном и фоновом створах, так как в зонах активного техногенеза контроль качества воды в водных объектах с частотой отбора проб 1 раз в месяц или даже в квартал представляется совершенно недостаточным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лепихин А.П. Проблема регламентации сброса и оценки «фонового» содержания тяжелых металлов в водотоках // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2003. – Т. 5, № 4. – С. 303-313.
2. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Особенности формирования техногенного воздействия в Соликамско-Березниковском промузле // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2003. – Т. 5, № 5. – С. 449-466.
3. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Техногенное воздействие Соликамско-Березниковского промузла на поверхностные водные объекты // Горн. журн. – 2008. – № 10. – С. 92-96.
4. Лепихин А.П., Мирошниченко С.А. Статистические функции распределения показателей качества воды естественных водных объектов // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2000. – Т. 2, № 3. – С. 249-258.
5. Lepikhin A.P., Voznyak A.A., Sintsova T.N. Statistical aspects in assessment of chemical loads upon water bodies // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – V. 979, № 1. – Номер статьи 012129. – DOI: 10.1088/1755-1315/979/1/012129.
6. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 813 с.: табл.