

## ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.4.054: 519.7

### ВЫДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ИНГРЕДИЕНТОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ КУЗБАССА

**В. Н. Опарин<sup>1</sup>, В. П. Потапов<sup>2</sup>, А. Б. Логов<sup>2</sup>,  
Е. Л. Счастливец<sup>2</sup>, Н. И. Юкина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: oparin@misd.nsc.ru,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт вычислительных технологий СО РАН (Кемеровский филиал),  
ул. Рукавишниковая, 21, 650025, г. Кемерово, Россия*

Методом энтропийного анализа изучены по ингредиентному составу сточные воды промышленных объектов Кемеровской области. Выделено несколько кластеров поллютантов из органических и металлосодержащих водных растворов (анилин, жиры, масла, нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества, кремний, фтор, хром, цианиды, алюминий, ванадий, железо, магний, медь, никель, свинец, цинк, нитраты, нитриты, азот аммонийный). Показана эволюция совокупности загрязняющих примесей поверхностных вод промышленными стоками за период 2008–2013 гг. Установлено, что качество большинства водных объектов горно-промышленной области не отвечает нормативным требованиям.

*Энтропийный метод, загрязнения, ингредиенты, водные объекты, промышленные сбросы, угледобывающие предприятия Кузбасса, кластеры*

Кемеровская область расположена в юго-восточной части Западно-Сибирской низменности, в пределах бассейна р. Томь, и занимает площадь 95.7 тыс. км<sup>2</sup> (0.6 % территории Российской Федерации). Поверхностные воды загрязняются главным образом сточными водами предприятий горнодобывающей, топливно-энергетической, металлургической, коксохимической, химической, деревообрабатывающей промышленности, агропромышленного комплекса и коммунального хозяйства [1–5]. Приемниками стоков являются реки: Томь и ее притоки (Уса, Мрассу, Мундыбаш, Кондома, Аба, Ускат, Средняя Терсь, Искитимка), Иня и ее притоки (Большой Бачат, Малый Бачат, Касьма) и Чулым и ее притоки (Кия, Яя, Тяжин, Барзас, Алчедат) [5]. Одним из основных загрязнителей является производственная деятельность горнопромышленного комплекса, оказывающая существенное воздействие на окружающую среду.

Известны различные методы и способы оценки техногенной и антропогенной нагрузки на водные объекты. Так, в [2] оценка техногенной нагрузки на территорию осуществляется путем соизмерения природных и производственных потенциалов с использованием энергетического подхода. В работе [3] антропогенное воздействие оценивается выделением техногенной составляющей исследуемой территории в общем загрязнении реки. Техногенная характеристика опре-

деляется в виде разности между фоновой концентрацией и средним значением для каждого ингредиента в выделенные периоды. В [4] оценка антропогенного влияния проводится по двум показателям: сумме главных ионов и содержанию углерода органических соединений. Это позволяет получить общее представление о химическом составе речных вод и условиях его формирования. В [5] предлагается модель антропогенной нагрузки на реку и формирования качества ее воды, основанная на теории объединения потоков вещества при объединении струй в водотоке. Алгоритм расчетов предельно допустимой нагрузки (ПДН), предложенный в [6], основан на использовании ассимилирующей способности водного объекта. В [7–10] рассмотрена методика оценки загрязненности вод по нормализованным (НПКВ) и ассоциативным (АПКВ) показателям качества вод, характеризующим состав вод как в среднем, в долях ПДК отдельных ингредиентов, так и их “коллективную” загрязненность той или иной группой поллютантов.

Самой распространенной оценкой качества поверхностных вод до 2004 г. являлся гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ). Он представляет собой среднюю долю превышения ПДК по строго лимитированному числу индивидуальных ингредиентов [11]. В связи с тем, что многие реки угледобывающих районов принимают полиингредиентные сбросы, комплексные оценки с использованием строго лимитированного числа примесей обычно не эффективны для выявления специфики загрязнения вод.

В 2004 г. Росгидрометом введена в действие *методика РД 52.24.643-2002* [12], в основе которой лежит метод оценки качества воды с использованием показателей КИЗ и УКИЗВ (комбинированного и удельного комбинаторного индекса загрязненности воды). Алгоритм определения классов качества воды, согласно этой методике, довольно громоздкий и требует дополнительных данных из многочисленных приложений, чтобы обеспечить получение необходимого результата.

В настоящей работе предложен новый подход к формированию и анализу кластеров сточных вод Кемеровской области, основанный на энтропийном методе [13].

#### МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ ИНГРЕДИЕНТОВ СТОЧНЫХ ВОД

Методы анализа экспериментальных данных можно трактовать как диагностику состояния неоднородной природной среды, подверженной воздействию нестационарных промышленных загрязнений. При недостаточности соответствующей информации целесообразно использовать изученный подход Big Data (BD) применительно к показателям промышленных водных стоков. Он характеризуется тем, что представленные показатели рассматриваются как все имеющиеся данные, полностью отражающие картину происходящего.

Особенности природного объекта исключают возможность применения ряда методов из арсенала BD, требующих предварительного обучения по прецедентам. Постановка задачи ориентирована на проведение экологического мониторинга, совмещенного с этапом сбора данных и базирующегося на надежных правилах кластеризации ингредиентов. Применительно к водным объектам и их поллютантам это предполагает выделение характерной для BD проблемы интегрирования частных заключений по наборам показателей различной природы со специфическими методиками экспериментального исследования состава сточных вод.

В Кемеровском филиале Института вычислительных технологий СО РАН разработан новый метод анализа состояния стохастических объектов недропользования [13–14], состоящих из неоднородных элементов  $i = \overline{1; I}$  по набору показателей  $j = \overline{1; J}$  различной природы и размерности. Исходные для анализа экспериментальные данные представляются условными распределениями  $q(i/j)$  показателей примесей  $j$  по элементам  $Q(i/j)$ :

$$q(i/j) = \frac{Q(i/j)}{\sum_{i=1}^I Q(i/j)}, \quad \sum_{i=1}^I q(i/j) \equiv 1. \quad (1)$$

По аналогии с формулой информационной энтропии Шеннона вводится модель распределения информации о примеси:

$$F_1(i/j) = -q(i/j) \ln q(i/j). \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что:

— при логарифмировании по основанию 2 информационная модель выражается в привычных битах;

— при  $q(j) = 1/I = \text{const}$ , т. е. при равномерном распределении ингредиента  $j$  получаем аналогию с максимумом энтропии:

$$U_{\max} = \sum_{i=1}^I U(i/j) = \ln I. \quad (3)$$

Какое-либо предпочтение элементов в этом случае становится невозможно и, следовательно, можно считать показатель  $j$  неинформативным.

Дифференцированием (2) получается вторая из используемых здесь модель:

$$F_2(i/j) = f \left[ \frac{dF_1}{dq} \right] = \ln Q(i/j). \quad (4)$$

Далее проводим нормализацию моделей (2) и (4):

$$\frac{F(i/j) - \hat{M}[F(i/j)]}{\sigma[F(i/j)]}, \quad F = F_1, F_2, \quad (5)$$

$\hat{M}[F(i/j)]$  — оценка математического ожидания распределения модели  $F$ :

$$\hat{M}[F(i/j)] \equiv \hat{M}[F; j] = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I F(i/j), \quad (6)$$

а  $\sigma^2[F(i/j)]$  — оценка дисперсии соответствующего  $F$ -распределения:

$$\sigma^2[F(i/j)] \equiv \sigma^2[F; j] = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I \{F(i/j) - \hat{M}[F(i/j)]\}^2. \quad (7)$$

Такая нормализация информационных моделей  $F_1, F_2$  позволяет получить их отображение на координатные оси фазовой плоскости (ФП).

Информационно-фазовый портрет (ИФП) контролируемого объекта является в таком случае геометрическим местом точек, принадлежащих к дифференциальному уравнению связи моделей распределения информации  $F_1(i/j) \rightarrow X(i/j)$  и ее “приращения”  $F_2(i/j) \rightarrow Y(i/j)$ .

Важно, что ФП позволяет ввести инвариантные границы, соответствующие ряду фундаментальных критериев и реализующие сегментацию ИФП по видам состояния контролируемого объекта, без привлечения априорных знаний о нем. Здесь применены следующие критерии:

1) поведения решения дифференциального уравнения в виде прямой линейной связи

$$\text{tg } \alpha(j) = r(j) = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I X(i/j)Y(i/j); \quad (8)$$

2) вида состояния объекта относительно гармонического решения (распределения) в форме эллипса, длинная ось которого  $D = \sqrt{2\left(\frac{I-1}{I} + \frac{2r^2}{1+r^2}\right)}$  лежит на выбранной прямой, а короткая ось равна  $d = \sqrt{2\left(\frac{I-1}{I} - \frac{2r^2}{1+r^2}\right)}$ ;

3) поведения решения (монотонное, колебательное) в виде совокупности гипербол с тем же межфокусным расстоянием  $2\sqrt{2r^2/(1+r^2)}$  и таким же соотношением осей.

Для анализа роли ингредиентов в формировании свойств каждого элемента используются условные (апостериорные) распределения  $F_1(i/j)$  и  $F_2(j/i)$ , названные инверсией из-за преобразования  $i/j \rightarrow j/i$ , по аналогии с байесовским методом. Они также образуют ИФП каждого конкретного элемента:

$$\left. \begin{array}{l} X(j/i) \\ Y(j/i) \end{array} \right\} = \frac{F(j/i) - \hat{M}[F(j/i)]}{\sigma[F(j/i)]}, \quad F = F_1, F_2, \quad (9)$$

где  $\hat{M}[F(j/i)] \equiv \hat{M}[F;i] = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J F(i/j)$ ,  $\sigma^2[F(j/i)] \equiv \sigma^2[F;i] = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J \{F(j/i) - \hat{M}[F(j/i)]\}^2$ .

Инверсии ИФП (9) подчинены аналогичным критериям и приняты в качестве характеристик свойств конкретного объекта. Для примера проанализируем состав сточных вод Кузбасса за период 2008–2013 гг. [1]. При анализе промышленных сбросов в поверхностные водные объекты Кемеровской области рассмотрены 35 ингредиентов и 6 кластеров.

В соответствии с представленной выше методикой предложены следующие группы поллютантов:

- кластер К1 ингредиентов — алюминий + анилин + жиры, масла + кремний + фтор + хром + цианиды:

$$F(i/2, 3, 9, 12, 31, 34, 35) = F(i/2) + F(i/3) + F(i/9) + F(i/12) + F(i/31) + F(i/34) + F(i/35);$$

- кластер К2 ингредиентов, влияние которых изменялось на противоположное за период наблюдений, — жиры, масла на фоне синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ):

$$F(i/9 - 22) = F(i/9) - F(i/22);$$

- кластер К3 органических соединений — анилин + жиры, масла + нефтепродукты + фенолы:

$$F(i/3, 9, 18, 27) = F(i/3) + F(i/9) + F(i/18) + F(i/27);$$

- кластер К4 суммирование воздействий ингредиентов — жиры, масла и СПАВ:

$$F(i/9, 22) = F(i/9) + F(i/22);$$

- кластер К5 металлов — алюминий, ванадий, железо, магний, медь, никель, свинец, хром, цинк:

$$F(i/Met) = F(i/2) + F(i/6) + F(i/8) + F(i/13) + F(i/15) + F(i/19) + F(i/24) + \\ + F(i/33) + F(i/35);$$

- кластер К6 азотсодержащих ингредиентов — азот аммонийный, нитраты, нитриты:

$$F(i/1, 20, 21) = F(i/1) + F(i/20) + F(i/21).$$

Распределения ингредиентов в промышленных стоках представлены в таблице. Для сравнения приведены значения ПДК (столбец 8) относительно рассматриваемой выборки проб сточных вод Кузбасса за период 2008 – 2013 гг. Формулы вычисления ПДК приведены в [13].

Фазовые координаты (по оси абсцисс) точек отбора проб, полученные в результате обобщения информации о концентрациях ингредиентов в сточных сбросах за период 2008 – 2013 гг.

№ п/п	Ингредиенты	2008	2009	2011	2012	2013	ПДК
1	Азот аммонийный	1.44	0.44	-0.82	-0.04	-1.02	0.51
2	Алюминий	-1.43	-0.05	0.92	0.97	-0.42	5.41
3	Анилин	-1.62	0.82	0.12	-0.13	0.81	15.03
4	Ацетон	—	—	-0.71	0.71	—	290.19
5	БПК полное	1.13	0.23	0.20	0.06	-1.62	1.71
6	Ванадий	-0.16	-1.35	0.88	—	0.62	3.79
7	Взвешенные вещества	0.97	0.94	-0.09	-0.41	-1.41	-1.56
8	Железо	1.08	0.80	-0.40	-0.05	-1.43	2.5
9	Жиры, масла	-1.41	-0.70	0.83	0.58	0.70	-0.2
10	Кадмий	0.87	0.15	1.00	-1.34	-0.67	6.74
11	Кальций	0.81	1.02	-0.16	-0.16	-1.50	8.46
12	Кремний	-1.78	0.30	0.46	0.56	0.46	2.55
13	Магний	0.66	0.94	-0.34	-1.25	—	2.13
14	Марганец	1.12	0.77	-0.14	-0.32	-1.43	0.39
15	Медь	1.28	0.79	-0.30	-1.07	-0.70	0.82
16	Метанол	-0.10	-1.37	0.62	0.85	—	14.7
17	Мышьяк	-0.21	-1.32	0.65	—	0.88	4.87
18	Нефтепродукты	1.31	0.84	-0.59	-0.72	-0.84	1.47
19	Никель	1.01	-0.57	1.07	-1.19	-0.32	5.52
20	Нитраты	-0.54	1.49	0.29	-0.06	-1.19	-1.65
21	Нитриты	1.56	0.08	-1.18	-0.05	-0.40	-6.77
22	СПАВ	0.13	-0.01	0.69	0.86	-1.67	31.8
23	Роданиды	0.88	0.85	-0.92	-0.80	—	7.63
24	Свинец	0.51	-0.06	0.92	-1.67	0.30	22.2
25	Сульфаты	1.16	0.82	0.00	-1.04	-0.94	7.91
26	Сухой остаток	0.66	0.73	0.44	-0.15	-1.68	8.13
27	Фенолы	1.16	-0.61	0.76	0.01	-1.31	5.33
28	Формальдегид	1.38	0.53	-0.31	-1.27	-0.34	8.99
29	Фосфор общий	0.80	0.89	0.23	-0.37	-1.54	-5.08
30	Фтор	-0.81	-0.23	1.01	1.08	-1.05	-2.59
31	Хлориды	1.34	0.24	0.01	-0.13	-1.46	26.09
32	ХПК	-1.31	1.36	-0.54	0.38	0.11	25.54
33	Хром+6	0.64	0.28	0.48	0.37	-1.77	5.76
34	Цианиды	0.56	0.60	-1.49	0.33	—	8.18
35	Цинк	1.26	0.76	-1.18	-0.22	-0.62	4.81
36	К1 (знак 1)	-1.11	0.05	0.23	1.50	-0.68	—
37	К2 (знак 2)	-1.44	-0.60	0.90	0.35	0.79	—
38	К3 (Ж, НП, Ан, Ф)	-1.34	-0.74	0.45	0.56	1.07	—
39	К4 (знак)	-1.36	-0.78	0.77	0.76	0.62	—
40	К5 (металл)	1.09	0.37	0.46	-1.52	-0.40	—
41	К6 (азоты)	0.64	-0.53	-1.51	0.52	0.87	—

На рис. 1 показаны инверсии фазовых портретов, позволяющие проследить изменение количества азотосодержащих примесей в сбросах сточных вод. Фазовые координаты точек отбо-

ра проб, полученные в результате обобщения информации о концентрациях ингредиентов за период 2008–2013 гг.:

- азот аммонийный (рис. 1а) — 2008 г. ( $X=1.44$ ,  $Y=1.19$ ); 2009 г. ( $X=0.44$ ,  $Y=0.27$ ); 2011 г. ( $X=-0.82$ ,  $Y=-1.56$ ); 2012 г. ( $X=-0.04$ ,  $Y=0.24$ ); 2013 г. ( $X=-1.02$ ,  $Y=-0.14$ ); ПДК ( $X=0.51$ ,  $Y=0.61$ );

- нитраты (рис. 1б) — 2008 г. ( $X=-0.54$ ,  $Y=0.29$ ); 2009 г. ( $X=1.49$ ,  $Y=1.43$ ); 2011 г. ( $X=0.29$ ,  $Y=-0.43$ ); 2012 г. ( $X=-0.06$ ,  $Y=-1.30$ ); 2013 г. ( $X=-1.19$ ,  $Y=0.01$ ), ПДК ( $X=-1.65$ ,  $Y=-1.73$ );

- нитриты (рис. 1в) — 2008 г. ( $X=1.56$ ,  $Y=1.06$ ); 2009 г. ( $X=0.08$ ,  $Y=-0.31$ ); 2011 г. ( $X=-1.18$ ,  $Y=-1.56$ ); 2012 г. ( $X=-0.05$ ,  $Y=0.34$ ); 2013 г. ( $X=-0.40$ ,  $Y=0.47$ ), ПДК ( $X=-6.77$ ,  $Y=-17.80$ ).

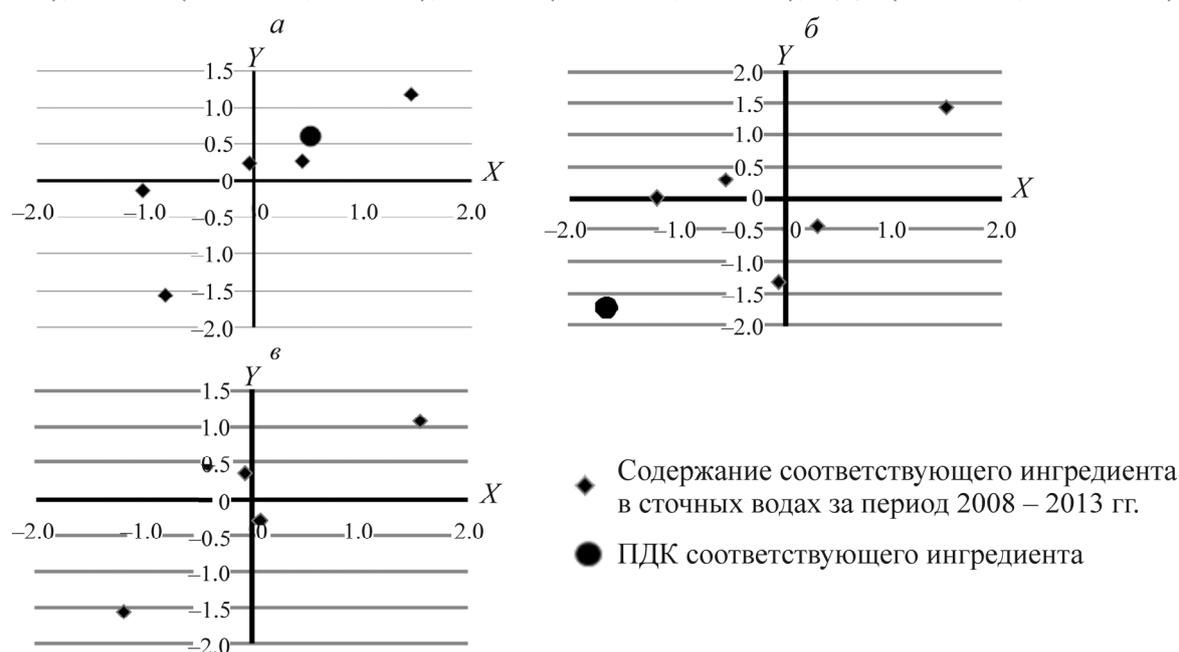


Рис. 1. Инверсионные фазовые портреты загрязнений сточных вод азотными соединениями за период 2008–2013 гг.: а — азотом аммонийным; б — нитратами; в — нитритами

Точки, отображенные в I квадранте на рис. 1, имеют наибольшую загрязненность, в III квадранте — наименьшую. Содержание азота аммонийного уменьшилось с 2008 по 2013 г. ( $X_{2008}=1.44$ ,  $X_{2013}=-1.02$ ); также уменьшилось количество нитратов к 2013 г. ( $X_{2008}=-0.54$ ,  $X_{2013}=-1.19$ ). Аналогичные изменения отмечены у нитритов, с минимумом в 2011 г. ( $X=-1.18$ ). Несмотря на то что уменьшилась концентрация указанных ингредиентов, в 2013 г. концентрация нитратов и нитритов в сбросах сточных вод по-прежнему не соответствует нормативным требованиям.

В период с 2008 по 2011 г. произошло уменьшение содержания ингредиентов кластера К6 в промышленных сбросах ( $X_{2008}=0.64$ ,  $X_{2011}=-1.51$ ), а в 2012–2013 гг. — увеличение ( $X_{2012}=0.52$ ,  $X_{2013}=0.87$ ).

В 2008–2013 гг. отмечено увеличение содержания органических веществ (кластер К3) в промышленных сбросах ( $X_{2008}=-1.34$ ,  $X_{2013}=1.07$ ), основной вклад в которые вносят жиры, масла и анилин.

Комбинирование является удобным приемом для выработки гипотез о действующих вариантах загрязнения. На рис. 2 представлены распределения ингредиентов кластеров К2 (жиры и

масла на фоне СПАВ) и К4 (жиры и масла в совокупности со СПАВ) в сточных сбросах. Фазовые координаты точек отбора проб, полученные в результате обобщения информации о концентрациях ингредиентов за период 2008–2013 гг.:

- кластер К2 (рис. 2а) — 2008 г. ( $X=-1.44, Y=-0.86$ ); 2009 г. ( $X=-0.60, Y=-0.69$ ); 2011 г. ( $X=0.90, Y=-0.29$ ); 2012 г. ( $X=0.35, Y=0.22$ ); 2013 г. ( $X=0.79, Y=1.63$ );
- кластер К4 (рис. 2б) — 2008 г. ( $X=-1.36, Y=-0.77$ ); 2009 г. ( $X=-0.78, Y=-1.17$ ); 2011 г. ( $X=0.77, Y=1.15$ ); 2012 г. ( $X=0.76, Y=0.84$ ); 2013 г. ( $X=0.62, Y=-0.04$ ).

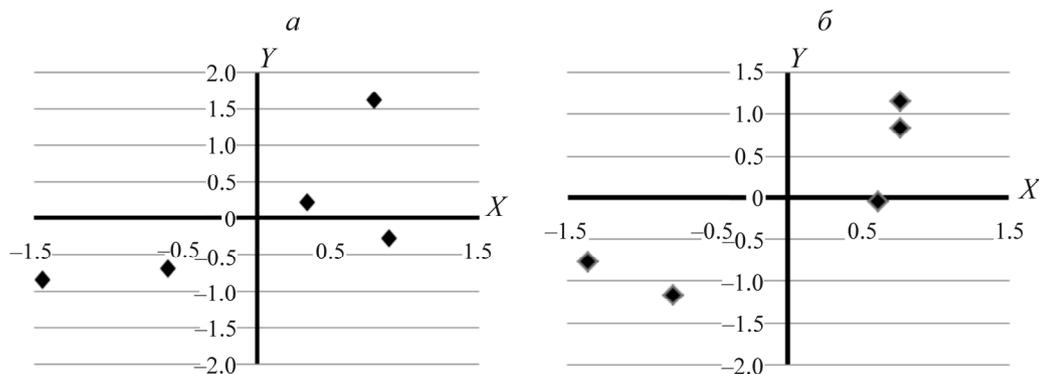


Рис. 2. Фазовые портреты распределения ингредиентов кластеров К2 и К4 в сточных водах за период 2008–2013 гг.: а — кластер К2; б — кластер К4

Ингредиенты можно группировать по физической природе. В частности, представляет интерес суммирование содержания всех металлов (алюминий, ванадий, железо, магний, медь, никель, свинец, хром, цинк). Инверсия такой комбинации (кластер К5) представлена на рис. 3. Фазовые координаты точек отбора проб, полученные в результате обобщения информации о концентрациях ингредиентов кластера К5: 2008 г. ( $X=1.09, Y=1.06$ ); 2009 г. ( $X=0.37, Y=0.31$ ); 2011 г. ( $X=0.46, Y=0.69$ ); 2012 г. ( $X=-1.52, Y=-1.33$ ); 2013 г. ( $X=-0.40, Y=-0.74$ ).

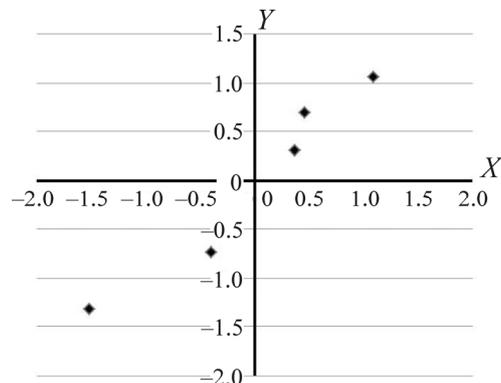


Рис. 3. Фазовый портрет распределения металлов кластера К5 в сточных водах за период 2008–2013 гг.

В кластере К5 установлено снижение количества металлов в промышленных сбросах с 2008 по 2013 г., в 2012 г. выделяется граница свойств по качественному снижению уровня металлов (минимальное содержание).

В 2008 г. выявлено высокое содержание следующих ингредиентов (рис. 4, точки, отображенные в I квадранте, с максимальными значениями по оси абсцисс): нитриты ( $X=1.56$ ), азот аммонийный ( $X=1.44$ ), формальдегиды ( $X=1.38$ ), хлориды ( $X=1.34$ ), нефтепродукты ( $X=1.31$ ). Из перечисленных ингредиентов только нитриты и азот аммонийный превышают уровень ПДК.

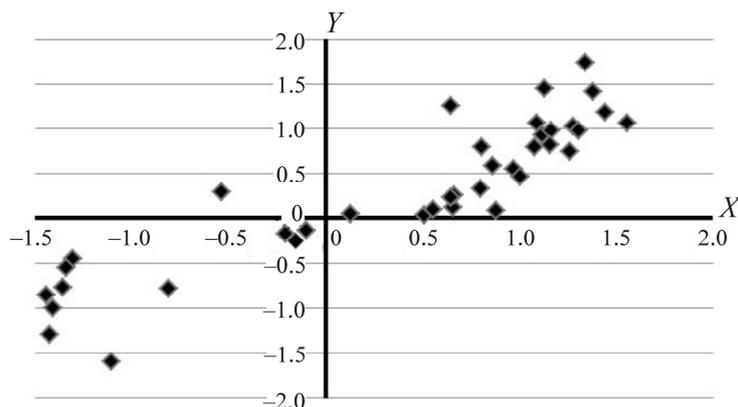


Рис. 4. Фазовый портрет распределения ингредиентов в сбросах сточных вод в 2008 г.

Между 2011 и 2012 гг. выделяются границы свойств по снижению уровня следующих ингредиентов: свинца ( $X_{2011} = 0.92$  и  $X_{2012} = -1.67$ ) и кластера К5 ( $X_{2011} = 0.46$  и  $X_{2012} = -1.52$ ), кадмия ( $X_{2011} = 1.00$  и  $X_{2012} = -1.34$ ), никеля ( $X_{2011} = 1.07$  и  $X_{2012} = -1.19$ ), сухого остатка ( $X_{2011} = 0.44$  и  $X_{2012} = -0.15$ ), формальдегида ( $X_{2011} = -0.31$  и  $X_{2012} = -1.27$ ), фосфора ( $X_{2011} = 0.23$  и  $X_{2012} = -0.37$ ), хлоридов ( $X_{2011} = 0.01$  и  $X_{2012} = -0.13$ ), магния ( $X_{2011} = -0.34$  и  $X_{2012} = -1.25$ ), марганца ( $X_{2011} = -0.14$  и  $X_{2012} = -0.32$ ), меди ( $X_{2011} = -0.3$  и  $X_{2012} = -1.07$ ) и нитратов ( $X_{2011} = 0.29$  и  $X_{2012} = -0.06$ ).

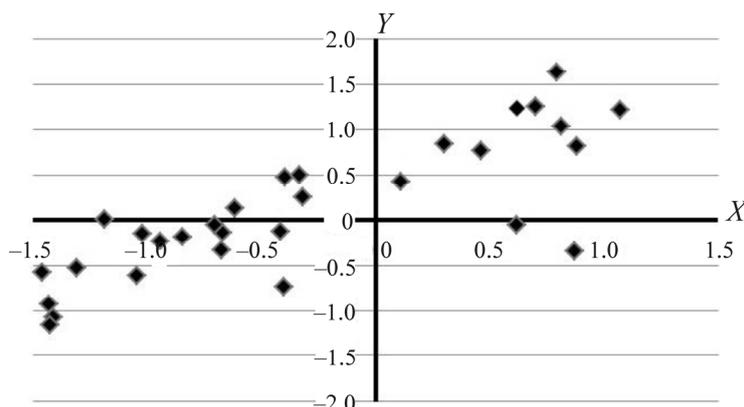


Рис. 5. Фазовый портрет распределения ингредиентов в сбросах сточных вод в 2013 г.

В 2013 г. зафиксировано высокое содержание следующих ингредиентов (рис. 5, точки, отображенные в I квадранте, с максимальными значениями по оси абсцисс): кластер К3 ( $X = 1.07$ ), мышьяк ( $X = 0.88$ ), анилин ( $X = 0.81$ ), кластер К2 ( $X = 0.79$ ), жиры и масла ( $X = 0.7$ ).

В 2013 г., по сравнению с 2008 г., установлено снижение загрязненности промышленных сбросов по следующим ингредиентам: хрому ( $X_{2008} = 0.64$ ,  $X_{2013} = -1.77$ ), сухому остатку ( $X_{2008} = 0.66$ ,  $X_{2013} = -1.68$ ), СПАВ ( $X_{2008} = 0.13$ ,  $X_{2013} = -1.67$ ), БПК ( $X_{2008} = 1.13$ ,  $X_{2013} = -1.62$ ), фосфору ( $X_{2008} = 0.80$ ,  $X_{2013} = -1.54$ ), кальцию ( $X_{2008} = 0.81$ ,  $X_{2013} = -1.50$ ), железу ( $X_{2008} = 1.08$ ,  $X_{2013} = -1.43$ ), марганцу ( $X_{2008} = 1.12$ ,  $X_{2013} = -1.43$ ), хлоридам ( $X_{2008} = 1.34$ ,  $X_{2013} = -1.46$ ), фтору ( $X_{2008} = -0.81$ ,  $X_{2013} = -1.05$ ), нитратам ( $X_{2008} = -0.54$ ,  $X_{2013} = -1.19$ ), нитритам ( $X_{2008} = 1.56$ ,  $X_{2013} = -0.40$ ) и взвешенным веществам ( $X_{2008} = 0.97$ ,  $X_{2013} = -1.41$ ). Однако концентрация некоторых из них (нитритов, нитратов, взвешенных веществ, фосфора и фтора) по-прежнему не удовлетворяет нормативным требованиям.

## ВЫВОДЫ

Длительные наблюдения за динамикой качества поверхностных вод Кемеровской области обнаруживают тенденцию увеличения числа стоков с высоким уровнем загрязненности (более 10 ПДК) и числа случаев экстремально высокого содержания (свыше 100 ПДК) загрязняющих веществ. Эта горнодобывающая область занимает ведущее место в Западной Сибири и России по объему загрязненных сточных вод, до нормативных значений очищается не более 15 %. Основной вклад в загрязнение поверхностных водных объектов вносят горнодобывающая и химическая промышленность Кузбасса. Для количественной оценки и качественной спецификации загрязнения водных объектов сформированы и проанализированы следующие кластеры сточных вод Кемеровской области: К1 — алюминий + анилин + жиры, масла + кремний + фтор + хром + цианиды; К2 — жиры, масла на фоне СПАВ; К4 — жиры и масла в совокупности со СПАВ; К3 — органические соединения (анилин + жиры, масла + нефтепродукты + фенолы); К5 — металлы (алюминий, ванадий, железо, магний, медь, никель, свинец, хром, цинк); К6 — азотсодержащие ингредиенты. Эти кластеры позволяют анализировать объединенные по физической природе совокупности поллютантов поверхностных вод промышленными стоками. Энтропийным методом анализа сточных вод Кемеровской области за период 2008–2013 гг. по ингредиентному составу, установлено:

— количество азотсодержащих соединений (кластер К6) в сбросах сточных вод уменьшается с 2008 по 2011 г., а затем увеличивается с 2011 по 2013 г. Минимально низкий уровень их наблюдается в 2011 г.;

— кластеры К1 и К5 образуют противоположные диагностические признаки в 2012 г., т. е. наблюдается резкое уменьшение количества металлов, но увеличивается количество ингредиентов в кластере К1 (жиры, масла и анилин). В кластере К5 установлено снижение количества металлов в промышленных сбросах с 2008 по 2013 гг., а в 2012 г. выделяется граница свойств по качественному снижению уровня металлов (минимальное содержание);

— происходит увеличение содержания органических веществ (кластер К3) водных объектов, основной вклад в которые вносят жиры, масла и анилин.

Описаны две комбинации взаимодействия ингредиентов в совокупности загрязнений: К2 и К4. Первая комбинация показывает ухудшающийся результат осаждения (связывания) жиров и масел щелочными соединениями — возрастание роли жиров и масел при снижении роли СПАВ. Вторая комбинация не учитывает химические реакции и механически объединяет эти ингредиенты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклады о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2008–2013 годах. — Кемерово, 2009–2014. — 68 с.
2. Попова Н. Б. Эколого-географические условия природопользования в зоне влияния Транссибирской магистрали (Западная Сибирь). — Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2001. — 182 с.
3. Спицына Т. П., Степень Р. А., Хохлова А. И. Выделение доли техногенной составляющей в реках урбанизированной территории // Вычисл. технологии: избр. докл. Междунар. конф. по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды: ENVIROMIS-2006. — Томск, 2006, Ч. 2. — С. 94–103.
4. Савичев О. Г. Оценка влияния сбросов сточных вод на минерализацию и общее содержание органических веществ в водах Томи // Изв. Том. политех. ун-та (Естественные науки). — 2005. — Т. 308. — № 1. — С. 44–47.

5. **Знаменский В. А.** Модель антропогенной нагрузки на реку и формирования качества воды в реке // Программные системы: теория и приложения. — 2010. — № 2(2). — С. 15–38.
6. **Михеев Н. Н., Яковлев С. В., Нечаев А. П., Набродов Б. С., Мясникова Е. В., Максимов А. В., Шашков С. Н.** Предельно допустимые экологические нагрузки на водные объекты и принципы оптимизации комплекса водоохранных мероприятий // Инж. экология. — 1997. — № 2. — С. 19–28.
7. **Счастливец Е. Л.** Техногенное воздействие угледобывающих предприятий на окружающую среду (на примере Кузбасса): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Барнаул, 2006. — 43 с.
8. **Потапов В. П., Мазикин В. П., Счастливец Е. Л., Вашлаева Н. Ю.** Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса. — Новосибирск: Наука, 2005. — 660 с.
9. **Счастливец Е. Л., Пушкин С. Г., Юкина Н. И.** О некоторых возможностях совершенствования системы мониторинга техноприродных вод // VIII Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: материалы рос. конф. /под ред. М. В. Кабанова. — Томск: Аграф-Пресс, 2009. — С. 279–281.
10. **Счастливец Е. Л., Пушкин С. Г., Юкина Н. И.** Проблемы современных оценок состояния поверхностных вод в угледобывающих районах и возможности совершенствования системы мониторинга техноприродных вод // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (г. Нижневартовск, 25–26 марта 2009 г.). — Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. гуманит. ун-та, 2009. — С. 163–169.
11. **Методические рекомендации** по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. — М., 1986. — 8 с.
12. **РД 52.24.643-2002.** Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Разработчики В. П. Емельянова, Е. Е. Лобченко; утв. и введ. Росгидрометом 03.12.2002 г. — 25 с.
13. **Логов А. Б., Опарин В. Н., Потапов В. П., Счастливец Е. Л., Юкина Н. И.** Энтропийный метод анализа состава техногенных вод горнодобывающего региона // ФТПРПИ. — 2015. — № 1. — С. 168–179.
14. **Логов А. Б., Замараев Р. Ю., Логов А. А.** Анализ состояния систем уникальных объектов // Вычисл. технологии. — 2005. — Т. 10. — № 5. — С. 49–53.

*Поступила в редакцию 6/V 2016*