

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-4-67-75

УДК 622.5: 504.4.054: 519.7

## ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ НА РЕКЕ ТОМЬ ПО СВОЙСТВАМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

## FORMATION OF TERRITORIAL CLUSTERS ON THE TOM RIVER BY THE PROPERTIES OF POLLUTION SPREADING

**Счастливцев Евгений Леонидович,**

доктор техн. наук, заведующий лабораторией, e-mail: schastlivtsev@ict.sbras.ru

**Schastlivtsev Evgeny L., D. Sc.,** Head of the laboratory

**Юкина Наталья Ивановна,**

кандидат техн. наук, научный сотрудник, e-mail: leonakler@mail.ru

**Yukina Natalya I., C.Sc. (Engineering),** Researcher

Институт вычислительных технологий СО РАН, Кемеровский филиал Института водных и экологических проблем СО РАН, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Рукавишникова, 21

Institute of Computational Technologies SB RAS, Kemerovo Branch of the Institute for water and environmental problems SB RAS, 21, ul. Rukavishnikova, Kemerovo, 650000, Russia

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы применения энтропийного анализа для оценки распределения загрязняющих веществ на водохозяйственных участках реки Томь от города Междуреченск до поселка городского типа Яшино. В энтропийном методе распределения примесей в пробах воды подменяются распределениями количества информации о концентрациях ингредиентов, в результате данные отображаются в фазовом пространстве. Отображение показателей загрязненности вод этих участков на фазовой плоскости инверсий, позволяет определить территориальные кластеры веществ: K1 (азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный), K2 (гидрокарбонаты, кальций, минерализация, хлориды), K3 (нефтепродукты, фенолы, смолы и асфальтены), K4 – опасные для человека (алюминий, кремний, роданиды, цианиды, азот нитритный, кадмий, молибден, свинец, ртуть, гексахлоран). Создание кластеров позволяет выявить группу ингредиентов, характерных для определенного водохозяйственного участка, что позволяет достаточно надежно проводить идентификацию источников загрязнения. В работе установлено, что распространение ингредиентов зависит от даты взятия проб и от объемов воздействующих источников загрязнения. Установлены водохозяйственные участки реки Томь, содержащие максимальное количество ингредиентов соответствующего кластера. Выявлены основные источники загрязнений, характерные для рассматриваемых кластеров.

**Abstract.** The paper discusses the application of entropy analysis to assess the distribution of pollutants in the water sections of the river Tom from the city of Mezhdurechensk to the urban-type settlement of Yashkino. In the entropy method, impurity distributions in water samples are replaced by distributions of the amount of information about the concentrations of ingredients, as a result of which the data are displayed in phase space. Displaying indicators of water pollution in these areas on the phase plane of inversions allows us to determine the territorial clusters of substances: K1 (nitrogen ammonium, nitrogen nitrate, nitrogen nitrite), K2 (hydrocarbonates, calcium, mineralization, chlorides), K3 (petroleum products, phenols, resins and asphaltenes), K4 - dangerous to humans (aluminum, silicon, thiocyanates, cyanides, nitrite nitrogen, cadmium, molybdenum, lead, mercury, hexachlorane). The creation of clusters makes it possible to identify a group of ingredients characteristic of a particular water management sector, which allows reliable identification of pollution sources. In the work, it is established that the distribution of ingredients depends on the date of sampling and on the volumes of the impacting sources of pollution. The water management areas of the Tom River were established, containing the maximum number of ingredients of the corresponding cluster. The main sources of pollution characteristic for the clusters under consideration were identified.

**Ключевые слова:** Ингредиенты, поверхностные воды, моделирование, информационная энтропия, пространство состояний, фазовые портреты, водохозяйственные участки, территориальные кластеры.

**Keywords:** ingredients, surface water, modeling, information entropy, state space, phase portraits, water areas, territorial clusters

### Введение

Водосборный бассейн реки Томи занимает площадь 61400 км<sup>2</sup>, в том числе до г. Кемерово – 47400 км<sup>2</sup> (около 50% всей территории Кемеровской области, составляющей 95 725 км<sup>2</sup>).

В бассейн р. Томи входят полностью и частично территории застройки 773 городов и более мелких населенных пунктов Кемеровской области, в том числе города Междуреченск, Новокузнецк, Прокопьевск, Кемерово, Юрга. Помимо этого, на территории бассейна имеется значительное количество горнодобывающих предприятий, оказывающих техногенное воздействие на водные объекты [1-4]. Это объясняет количество как бытовых, так и промышленных сбросов, способных создать одновременно на всей территории бассейна кризисную ситуацию регионального масштаба [5]. В силу этого, река Томь является одной из наиболее загрязненных рек в Западной Сибири. Основными загрязняющими веществами в ней являются: взвешенные вещества, БПК, фенолы, нефтепродукты, соединения азота, железо, цинк, легко окисляемая органика. Качество воды в р. Томь по обобщенному показателю УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязненности воды) ниже г. Междуреченск УКИЗВ = 2.54, вода загрязненная, в черте г. Новокузнецк УКИЗВ = 3.12, вода очень загрязненная, ниже г. Новокузнецк УКИЗВ = 4.47, вода грязная [6].

Для определения первоочередных водоохраных мероприятий необходимо установить основные источники загрязнения воды на различных участках. Это можно сделать, определив территориальные кластеры загрязняющих веществ. Существуют также другие методы и подходы к оценке качества водных объектов [7-9]. В данной работе сделана попытка нахождения кластеров с применением энтропийного анализа.

Для практической проверки метода, в работе проведен анализ распределения ингредиентов на водохозяйственных участках р. Томь от г. Междуреченск до пгт. Яшкино с контрольными створами отбора проб в: г. Междуреченск (участок 1), г. Новокузнецк (участок 2), пгт. Крапивинский (участок 3), г. Кемерово (участок 4), пгт. Яшкино (участок 5).

### Метод анализа данных

В Кемеровском филиале Института вычислительных технологий разработан новый метод анализа состояния стохастических объектов недропользования [10-12], в рамках которого рассматриваются условные распределения  $Q(i/j)$  различного рода примесей, обозначенных индексом  $j$  в множестве (элементов) проб воды  $i$  (фрагмент таблицы 1). Мы относим метод к интеллектуальному анализу по технологии Big Data, где «большие» трактуется как «все имеющиеся». Таким образом, не используется парадигма «выборочно-го» подхода, а анализ приобретает смысл техниче-

ской диагностики.

Распределение  $Q(i/j)$  моделируется распределением вкладов элементов в информационную энтропию по аналогии с известной формулой К. Шеннона:

$$U(i/j) = -q(i/j) \cdot \ln q(i/j), \quad (1)$$

где

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

– удельный вес элемента  $i$  при условии рассмотрения примеси  $j$ .

Понятно, что область применения преобразования (1) ограничена аддитивными характеристиками  $Q(j) = \sum_{i=1}^I Q(i/j)$ , но в данных присут-

ствует значительное число относительных (например, концентрации), для которых обоснованы производные модели:

$$V(i/j) = f \left[ \frac{dU}{dq} \right] = \ln Q(i/j) \quad (2)$$

$$W(i/j) = f \left[ \frac{d^2U}{dq^2} \right] = -1/Q(i/j)$$

Изменение знака предложено использовать для удобства трактовки результатов.

На основе нормализации: центрирования на среднее значение модели ( $M$ ) и нормирования по среднему квадратичному разбросу ( $\sigma$ ) получаем наглядное отображение на оси координат информационно-фазовой плоскости:

$$X(i/j) = \frac{V(i/j) - M[V(i/j)]}{\sigma[V(i/j)]} \quad (3)$$

$$Y(i/j) = \frac{W(i/j) - M[W(i/j)]}{\sigma[W(i/j)]} \quad (4)$$

В энтропийном методе [10–14] распределения примесей в пробах воды подменяются (моделируются) распределениями количества информации о концентрациях ингредиентов (долей) и, дополнительно – распределениями интенсивности приращения долей. В результате совокупности данных отображаются в пространстве состояний (фазовом пространстве), которое является геометрическим местом отображения решений некоторых (пусть не найденных) дифференциальных уравнений, описывающих состояние выборочного объекта.

Для практической проверки метода, проанализируем распределения ингредиентов на водохозяйственных участках р. Томь за 1996-2003 гг. от г. Междуреченск до пгт. Яшкино с контрольными створами отбора проб в: г. Междуреченск (участок 1), г. Новокузнецк (участок 2), пгт. Крапивинский (участок 3), г. Кемерово (участок 4), пгт. Яшкино (участок 5). Анализ проб проводили по 20 ингре-

диентам (азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный, взвешенные вещества, гидрокарбонаты, кальций, минерализация, хлориды, нефтепродукты, фенолы, смолы и асфальтены, алюминий, кремний, роданиды, цианиды, кадмий, молибден, ртуть, свинец, гексахлоран) и 4 кластерам.

В соответствии с представленной выше методикой предложены следующие группы поллютантов:

- кластер K1 (азоты аммонийный, нитратный и нитритный);
- кластер K2 (гидрокарбонаты, кальций, минерализация, хлориды);
- кластер K3 (нефтепродукты, фенолы, смолы и асфальтены);
- кластер K4 (алюминий, кремний, роданиды, цианиды, азот нитритный, кадмий, молибден, свинец, ртуть, гексахлоран).

Фазовые портреты, позволяющие проследить

Таблица 1. Фрагмент исходных данных концентраций ингредиентов, мг/л

Дата проб	Районы отбора проб	Показатели Q (i/j)					
		Азот аммон.	Азот нитрат.	Азот нитрит.	Взвешенные вещества	Гидрокарбонаты	Кальций
Январь 1996	Новокузнецкий	0,01	2,9	0,012	7	-	-
Февраль 1996	Кемеровский	0,18	-	0,002	1	-	-
Март 1996	Кемеровский	0,08	2,19	0,008	9,5	143,4	42,5
Март 1996	Яшкинский	0,05	2,44	0,057	3,9	165,1	47,7

изменение количества азотсодержащих примесей (кластер K1) на разных водохозяйственных участках р.Томь, представлены на рис.1. Фазовые координаты (X, Y) точек отбора проб, получены в результате обобщения информации о концентрациях ингредиентов.

Пробы вод, отображенные в I-ом квадранте, считаются максимально загрязненными, а в III-ем квадранте, наоборот, – чистыми, относительно рассматриваемой выборки вод [10-14].

Распространение ингредиентов кластеров K1-K4 по р.Томь неоднобразно, зависит от даты взятия проб и от объемов воздействующих источников загрязнения. Установлены водохозяйственные участки р.Томь с максимальными количествами ингредиентов кластера K1 (табл.2): в 1996-1997гг. и 1999-2003гг. – Новокузнецкий (рис.1 Б, В), в 1998г. - Междуреченский (рис.1 А). В апреле 1998г. (рис.1 А) наибольшее содержание кластера K1 в Междуреченском районе (X=3.31), на втором месте – Яшкинский район (X=2.64), наименьшее - в Кемеровском (X=-1.68). В августе 2002г. (рис.1 Б) в Новокузнецком районе (X=0.45), на втором месте – Междуреченский район (X=0.43), наименьшее - в Яшкинском (X=-1.14); а в ноябре 2003г. (рис.1 В) в Новокузнецком районе (X=1.76), на втором месте – Междуреченский район (X=

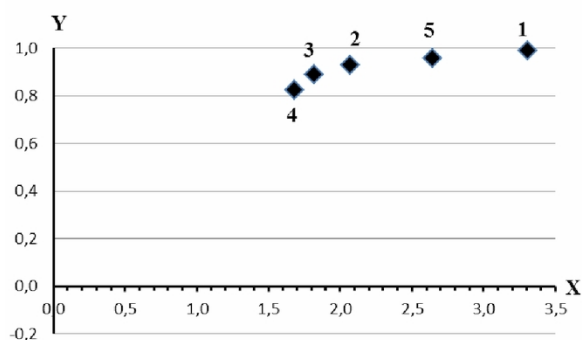
0.01), наименьшее - в Крапивинском (X= -0.92).

Исследования показали, что максимальное количество ингредиентов кластера K2 (табл.2) содержится на следующих водохозяйственных участках р.Томь: в 1996г., 1998г. и 2000г. – в Новокузнецком (рис.2А), в 1997г. и 2003г. - в Крапивинском (рис.2В), в 1999г., 2001-2002гг. - в Кемеровском (рис.2Б) районах. В мае 2000г. (рис.2А) наибольшее содержание кластера K2 в Новокузнецком районе (X=1.11), на втором месте – Кемеровский район (X=-0.61), наименьшее - в Междуреченском (X=-1.21). В марте 2002г. (рис.2Б) - в Кемеровском районе (X=2.88), на втором месте – Яшкинский район (X=1.53), наименьшее - в Междуреченском (X=0.52), а в ноябре 2003г. (рис.2В) в Крапивинском районе (X=2.09), на втором месте – Новокузнецкий район (X=0.35), наименьшее - в Междуреченском (X=0.15).

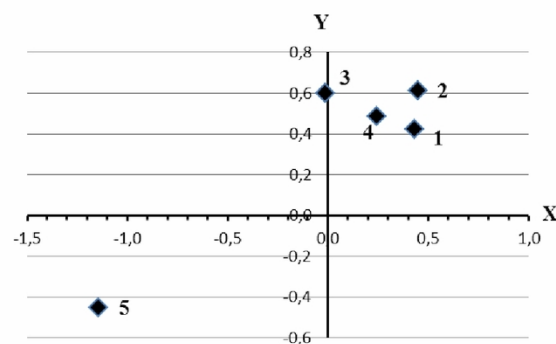
Максимальное количество ингредиентов кла-

стера K3 (табл.2) содержится на следующих водохозяйственных участках р.Томь: в 1996 и 2001-2003гг. - Междуреченском (рис.3В), в 1997-1999гг. - Новокузнецком (рис.3Б), в 2000г. - Кемеровском (рис.3А). Установлено, что в сентябре 2000г. (рис.3А) наибольшее содержание кластера K3 в Кемеровском районе (X=1.84), на втором месте – Яшкинский район (X=1.71), наименьшее - в Междуреченском (X=-1.15). В январе 1999г. (рис.3Б) в Новокузнецком районе (X=1.18), на втором месте – Междуреченский район (X=0.89), наименьшее - в Кемеровском (X=-2.13), а в апреле 2002г. (рис.3В) в Междуреченском районе (X=2.76), на втором месте – Кемеровский район (X=2.63), наименьшее - в Новокузнецком (X=1.34).

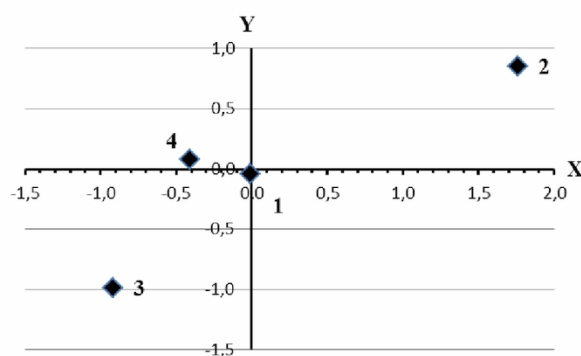
Фазовые портреты, распределения ингредиентов кластера K4 (ингредиентов, имеющих 1 и 2 классы опасности для человека: чрезвычайно опасные и высоко опасные [15]) на разных водохозяйственных участках р.Томь, представлены на рис.4. Установлены районы (участки р.Томь) с максимальными количествами ингредиентов кластера K4 (табл.2): в 1996-1998гг.и 2000-2002гг. – Новокузнецкий (рис.4А), в 1999г. - Крапивинский (рис.4В), в 2003г.- Кемеровский (рис.4Б).



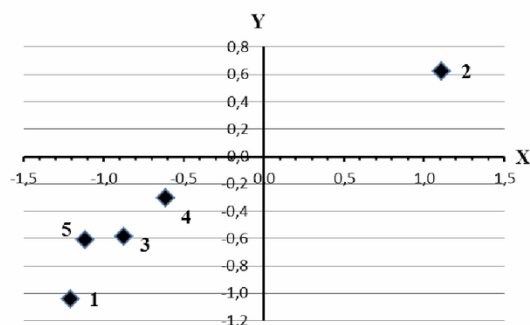
А) Апрель, 1998



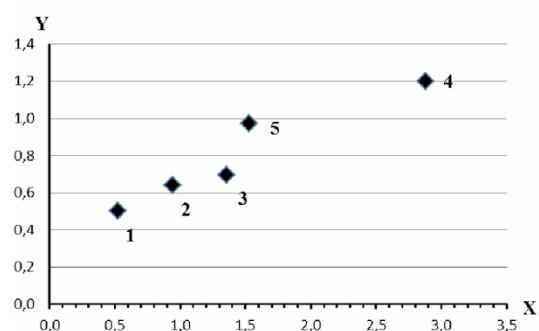
Б) Август, 2002



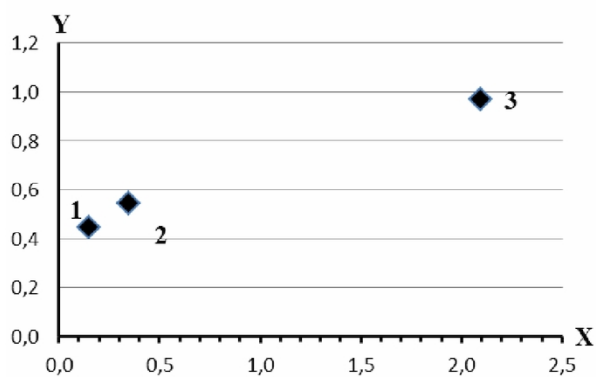
В) Ноябрь, 2003



А) Май, 2000



Б) Март, 2002

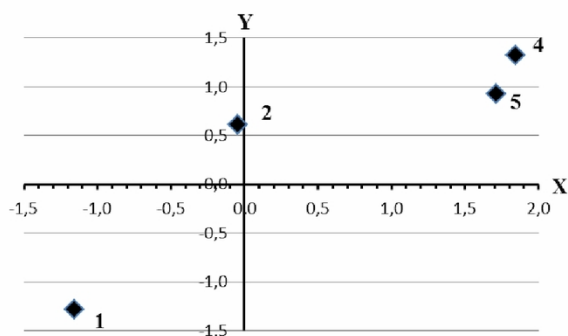


В) Ноябрь, 2003

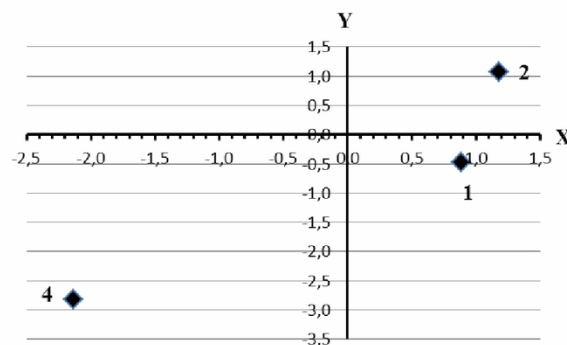
Рис.1 Информационно-фазовые портреты распределения ингредиентов кластера K1 на водохозяйственных участках р.Томь: 1 – Междуреченск, 2 – Новокузнецк, 3 – пгт.Крапивинский, 4 – Кемерово, 5 – пгт.Яшикино

Рис.2 Информационно-фазовые портреты распределения ингредиентов кластера K2 на водохозяйственных участках р.Томь: 1 – Междуреченск, 2 – Новокузнецк, 3 – пгт.Крапивинский, 4 – Кемерово, 5 – пгт.Яшикино

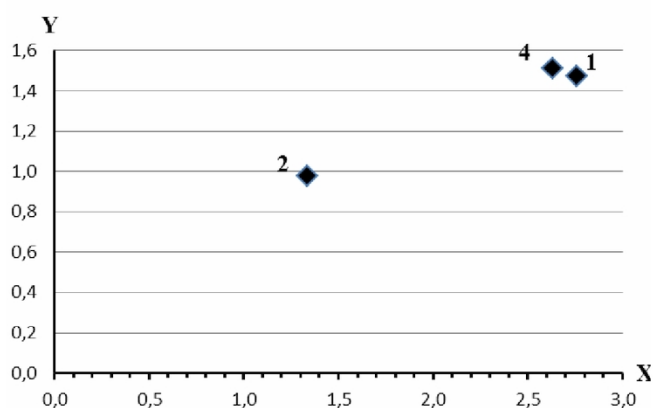




А) Сентябрь, 2000

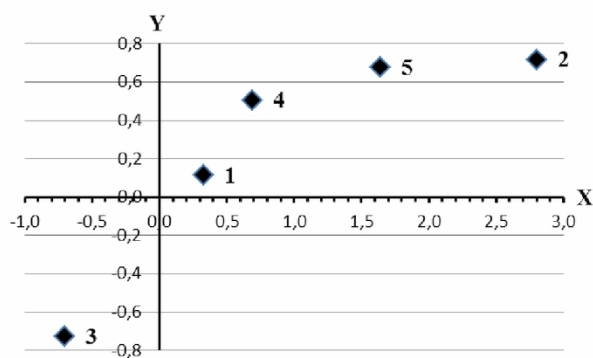


Б) Январь, 1999

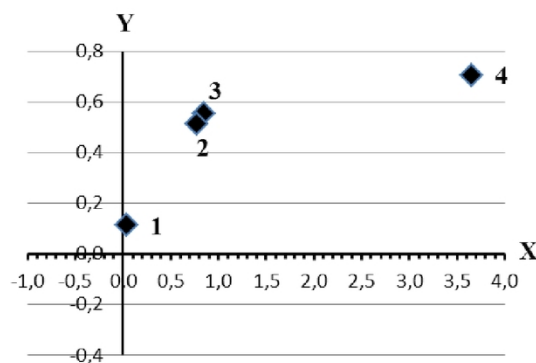


В) Апрель, 2002

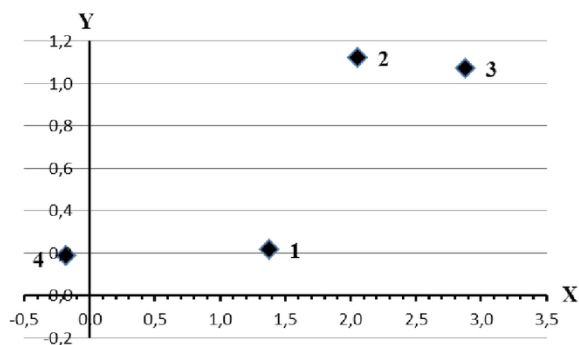
Рис.3 Информационно-фазовые портреты распределения ингредиентов кластера КЗ на водохозяйственных участках р.Томь: 1 – Междуреченск, 2 – Новокузнецк, 3 – пгт.Крапивинский, 4 – Кемерово, 5 – пгт.Яшикино



А) Март, 2002г.



Б) Май, 2003г.



В) Май, 1999г

Рис.4 Информационно-фазовые портреты распределения ингредиентов кластера К4 на водохозяйственных участках р.Томь: 1 – Междуреченск, 2 – Новокузнецк, 3 – пгт.Крапивинский, 4 – Кемерово, 5 – пгт.Яшикино

Таблица 2. Водохозяйственные участки р.Томь, с максимальным содержанием ингредиентов за период 1996-2003гг, в фазовых координатах (X, Y).

Кластеры	Годы	Водохозяйственные участки	X	Y
K1	1996	Новокузнецкий	3.35	1.01
	1997	Новокузнецкий	1.74	0.86
	1998	Междуреченский	3.31	0.99
	1999	Новокузнецкий	1.72	0.89
	2000	Новокузнецкий	2.82	0.99
	2001	Новокузнецкий	3.46	1.02
	2002	Новокузнецкий	3.46	1.02
	2003	Новокузнецкий	3.01	1.00
K2	1996	Новокузнецкий	3.17	1.20
	1997	Крапивинский	1.82	1.02
	1998	Новокузнецкий	2.77	1.19
	1999	Кемеровский	1.79	1.06
	2000	Новокузнецкий	1.93	1.05
	2001	Кемеровский	2.88	1.20
	2002	Кемеровский	2.88	1.20
	2003	Крапивинский	2.09	0.97
K3	1996	Междуреченский	2.74	1.37
	1997	Новокузнецкий	3.88	1.66
	1998	Новокузнецкий	1.89	1.38
	1999	Новокузнецкий	1.18	1.07
	2000	Кемеровский	1.84	1.32
	2001	Междуреченский	2.76	1.47
	2002	Междуреченский	2.76	1.47
	2003	Междуреченский	2.08	1.22
K4	1996	Новокузнецкий	2.83	0.65
	1997	Новокузнецкий	1.65	0.61
	1998	Новокузнецкий	4.20	0.63
	1999	Крапивинский	2.88	1.07
	2000	Новокузнецкий	2.40	0.65
	2001	Новокузнецкий	2.80	0.72
	2002	Новокузнецкий	2.80	0.72
	2003	Кемеровский	3.65	0.70

**Обобщение результатов**

Установлено, что в марте 2002г. (рис.4А) наибольшее содержание кластера K4 в Новокузнецком районе (X=2.80), на втором месте – Яшкинский район (X=1.64), наименьшее - в Крапивинском (X=-0.70). В мае 2003г. (рис.4Б) в Кемеровском районе (X=3.65), на втором месте – Крапивинский район (X=0.85), наименьшее - в Междуреченском (X=0.04), а в мае 1999г. (рис.4В) - в Крапивинском районе (X=2.88), на втором месте – Новокузнецкий район (X=2.05), наименьшее - в Кемеровском (X= -0.18).

В табл. 3 представлен обобщенный результат по всем рассматриваемым кластерам. В колонке 2

табл.3 приведены районы с максимальным содержанием ингредиентов соответствующего кластера; в колонке 3- основные источники загрязнения.

**Выводы**

В работе рассматриваются вопросы применения энтропийного анализа для оценки распределения загрязняющих веществ на водохозяйственных участках р. Томь от г. Междуреченск до пгт. Яшкино. Отображение показателей загрязненности вод этих участков на фазовой плоскости инверсий, позволяет выделить территориальные кластеры веществ: K1 (азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный), K2 (гидрокарбонаты, кальций, минерализация, хлориды), K3 (нефте-

продукты, фенолы, смолы и асфальтены), К4 – опасные для человека (алюминий, кремний, роданиды, цианиды, азот нитритный, кадмий, молибден, свинец, ртуть, гексахлоран). Выделение кластеров загрязняющих веществ, характерных для определенного водохозяйственного участка, позволяет достаточно надежно проводить идентификацию источников загрязнения.

Распространение ингредиентов кластеров К1-К4 по р.Томь неоднобразно, зависит от даты взятия проб и от объемов воздействующих источников загрязнения.

Установлены водохозяйственные участки р.Томь, содержащие максимальное количество ингредиентов соответствующего кластера:

- К1 в 1999-2003гг. - Новокузнецкий район ( $X_{1999}=1.72$ ,  $X_{2000}=2.82$ ,  $X_{2001}=3.46$ ,  $X_{2002}=3.46$ ,  $X_{2003}=3.01$ ), в 1998г. - Междуреченский ( $X=3.31$ );

- К2 в 1996г. - Новокузнецкий район ( $X=3.17$ ), в 1997г. и 2003г. - Крапивинский ( $X_{1997}=1.82$ ,

$X_{2003}=2.09$ ), а в 1999г. и 2001-2002гг. - Кемеровский ( $X_{1999}=1.79$ ,  $X_{2001}=2.88$ ,  $X_{2002}=2.88$ );

- К3 в 1997г. - в Новокузнецком ( $X=3.88$ ) районе, в 2000г. - Кемеровском районе ( $X=1.84$ ), а в 2001-2003гг. - Междуреченском ( $X_{2001}=2.76$ ,  $X_{2002}=2.76$ ,  $X_{2003}=2.08$ );

- К4 в 1996-1998гг. и 2000-2002гг. - в Новокузнецком районе ( $X_{1998}=4.20$ ,  $X_{2000}=2.40$ ,  $X_{2001}=2.80$ ,  $X_{2002}=2.80$ ), в 1999г. - Крапивинском ( $X=2.88$ ), а в 2003г. - Кемеровском районе ( $X_{2003}=3.65$ ).

Выявлены основные источники загрязнений, характерные для рассматриваемых кластеров: для кластера К1- сброс сточных вод жилищно-коммунальных хозяйств, карьерные и шахтные сбросы, стоки химических промпредприятий; К2 - карьерные и шахтные сбросы; К3- стоки автотранспортных предприятий, шахтные и карьерные сбросы, сбросы ОФ, стоки жилищно-коммунальных хозяйств; К4 - шахтные и карьерные сбросы, стоки промпредприятий

Таблица 3. Источники загрязнения на водохозяйственных участках

Кластеры	№	Название района	Основные источники загрязнения
	водохозяйственного участка р.Томь		
1	2		3
К1	1	Междуреченский	Сброс сточных вод жилищно-коммунальных хозяйств, карьерные и шахтные сбросы, стоки химических пром-предприятий
	4	Кемеровский	
	2	Новокузнецкий	
К2	3	Крапивинский	Карьерные и шахтные сбросы
	4	Кемеровский	
	2	Новокузнецкий	
К3	1	Междуреченский	Стоки автотранспортных предприятий, шахтные и карьерные сбросы, сбросы ОФ, стоки жилищно-коммунальных хозяйств
	2	Новокузнецкий	
	3	Кемеровский	
К4	1	Междуреченский	Шахтные и карьерные сбросы, стоки пром-предприятий
	4	Кемеровский	
	2	Новокузнецкий	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Счастливцев Е.Л., Быков А.А., Юкина Н.И., Пушкин С.Г.. Оценка техногенной нагрузки на бассейны рек горнодобывающего района в южной части Кузбасса // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2015, № 4, с. 333-339.
2. Ковалев, В.А. Мониторинг состояния природной среды угледобывающих районов Кузбасса - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 312 с.
3. Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И., Жукова И.А. Оценка техногенного воздействия угольных предприятий на водные объекты // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2013. - № ОВ6. -532 с.- М.: Издательство «Горная книга».- С.496-507.
4. Счастливцев Е.Л., Пушкин С.Г., Юкина Н.И. Мониторинг техноприродных вод // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Кемерово. - Изд-во: ООО «ВостЭКО». 2014г., № 1-2014.С.135-141.
5. Савичев, О.Г. Фоновые концентрации веществ в речных водах таежной зоны Западной Сибири/ О.Г. Савичев // Вестник Томского государственного университета. Издательство: национальный исследовательский томский государственный университет (Томск). 2010г., № 334.- С.169-175.
6. Администрация Кемеровской области «Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2012 году», г. Кемерово, 2013. – 71 с.
7. Oki, T., Seto, S., and Musiake, K. (2000). Land surface monitoring by backscattering coefficient from

TRMM/PR 2A21. Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE: Honolulu, HI, 2032–2034.

8. Grayson, R. B., Moore, I. D., and McMahon, T. A. (1992). Physically based hydrologic modelling, II, Is the concept realistic? *Water Resources Research*, 28, 2659–2666.

9. Barnali Dixon, Venkatesh Uddameri "GIS and Geocomputation for Water Resource Science and Engineering», editorial offices: 9600 Garsington Road, Oxford, OX4 2DQ, UK, 2016, P.1095

10. Логов, А.Б. Анализ состояния уникальных объектов. Учебное пособие для межвузовского использования по специальности 010501 / А.Б. Логов, Р.Ю. Замараев, А.А. Логов; ГОУ ВПО "Кемеровский государственный университет". – Кемерово, 2011. - 194 с.

11. Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А. Моделирование тенденций поведения элементов систем уникальных объектов. – Вычислительные технологии. Том 10. №5. 2005 – с.54-56.

12. Логов А.Б., Замараев Р.Ю., Логов А.А. Алгоритмы энтропийного метода анализа для отображения свойств объекта в фазовом пространстве. – Вычислительные технологии. Том 10. №6. 2005 – с.75-81.

13. Логов А.Б., Опарин В.Н., Потапов В.П. и др. Энтропийный метод анализа состава техногенных вод горнодобывающего региона // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Издательство: Издательство Сибирского отделения РАН (Новосибирск) ISSN: 0015-3273, 2015.- № 1.- С.168-179.

14. Опарин В.Н., Потапов В.П., Логов А.Б., Счастливцев Е.Л., Юкина Н.И.. Выделение кластеров ингредиентов в промышленных загрязнениях водных объектов Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Издательство: Издательство Сибирского отделения РАН (Новосибирск) ISSN: 0015-3273, 2016, № 5, С.183-192.

15. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Москва, 2001. - 46 с.

## REFERENCES

1. Schastlivtsev E.L., Bykov A.A., Yukina N.I., Pushkin S.G. Otsenka tekhnogennoy nagruzki na basseyny rek gornodobyvayushchego rayona v yuzhnoy chasti Kuzbassa [Estimation of anthropogenic load on river basins of the mining area in the southern part of Kuzbass]. *Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*. 2015. No. 4, pp. 333-339.

2. Kovalev V.A. Monitoring sostoyaniya prirodnoy sredy ugledobyvayushchikh rayonov Kuzbassa [Monitoring of the state of the natural environment of coal-mining regions of Kuzbass] - Novosibirsk: SB RAS, 2013. p. 312.

3. Schastlivtsev E.L., Pushkin S.G., Yukina N.I., Zhukova I.A. Otsenka tekhnogennoy vozdeystviya ugolnykh predpriyatiy na vodnye obekty [Assessment of the technogenic impact of coal enterprises on water resources]. *Gornyy informatsyonno-analiticheskiy byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2013. No. OV6, pp. 496-507.

4. Schastlivtsev E.L., Pushkin S.G., Yukina N.I. Monitoring tekhnoprirodnikh vod [Monitoring of technonatural waters]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti*. [Bulletin of the Scientific Center for the Safety of Work in the Coal Industry]. Kemerovo. 2014. No. 1-2014, pp. 135-141.

5. Savichev O.G. Fonovye kontsentratsii veshchestv v rechnykh vodakh taizhnoy zony Zapadnoy Sibiri [Background concentrations of substances in river waters of the taiga zone of Western Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University]. Tomsk. 2010. No. 334, pp. 169-175.

6. Administratsiya Kemerovskoy oblasti «Doklad o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy Kemerovskoy oblasti v 2012 godu.[Administration of the Kemerovo region "Report on the state and protection of the environment of the Kemerovo region in 2012"] Kemerovo. 2013. p. 71.

7. Oki T., Seto S., and Musiake K. Land surface monitoring by backscattering coefficient from TRMM/PR 2A21. Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE: Honolulu, 2000. pp. 2032–2034.

8. Grayson R. B., Moore I. D., and McMahon T. A. Physically based hydrologic modelling, II, Is the concept realistic? *Water Resources Research*, 1992. Vol.28, pp. 2659–2666.

9. Barnali Dixon, Venkatesh Uddameri. GIS and Geocomputation for Water Resource Science and Engineering, editorial offices: 9600 Garsington Road, Oxford, OX4 2DQ, UK, 2016, p.1095

10. Logov A.B., Zamaraev R.Yu. Logov A.A. Analiz sostoyaniya unikalnykh obektov. Uchebnoe posobie dlya mezhvuzovskogo ispolzovaniya po spetsialnosti 010501 [Analysis of the state of unique objects. Textbook for intercollegiate use on specialty 010501] GOU VPO Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet [GOU VPO "Kemerovo State University"]. Kemerovo. 2011. p. 194.

11. Logov A.B., Zamaraev R.Yu. Logov A.A. Modelirovaniye tendentsiy povedeniya elementov system unikalnykh obektov.[Modeling of trends in the behavior of elements of unique objects systems]. *Vychislitelnye*

tekhnologii. [Computing technologies]. Vol.10. №5. pp.54-56.

12. Logov A.B., Zamaraev R.Yu. Logov A.A. Algoritmy entropiynogo metoda analiza dlya otobrazheniya svoystv obekta v fazovom prostranstve.[ Algorithms of the entropy analysis method for displaying the properties of an object in the phase space]. Vychislitelnye tekhnologii. [Computing technologies]. Vol.10. № 6. pp.75-81.

13. Logov A.B. , Oparin V. N. , Potapov V. P., Schastlivtsev E. L. , Yukina N. I. Entropy analysis of process wastewater composition in mineral mining // Journal of mining science. Vol. 51, No. 1. 2015. p. 168-179.

14. Oparin V. N. , Potapov V. P., Logov A.B. , Schastlivtsev E. L. , Yukina N. I. Separation of clusters of ingredients in industrial pollution of water bodies of Kuzbass // Journal of mining science. No. 5. 2016. pp. 183-192.

15. SanPiN 2.1.4.1074-01. Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pitevogo vodosnabzheniya. Kontrol kachestva. [SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]. Moscow. 2001. p. 46.

*Поступило в редакцию 29 мая 2017*

*Received 29 May 2017*