



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ОЦЕНКА ПРИРОДНОГО КАЧЕСТВА ВОД *AUTOMATIC WATER OBJECTS CLASSIFICATION AND NATURAL WATER QUALITY ASSESSMENT*

**Mikhail Zobkov**

Nothern water problems institute, Karelian research center  
50 Aleksandra Nevskogo St. Petrozavodsk, Karelia, Russia  
Ph: 8 (8142) 576541, e-mail:duet@onego.ru

---

**Abstract.** *Assessment of water quality and classification of water object plays significant role in an environmental and ecology study. Water quality evaluation by hydrochemical parameters is fairly difficult and required a long period of time. Automatic expert system was created to solve this problem. Automatization of objects classification and quality assessment for humus zone based on Karelian water bodies research data are presented in this study. Automation algorithms of the surface water geochemical classification based on the principal chemical transactions was obtained during research. Classification based on implicit scaling data by classification parameter. Alkalinity, pH, huminity,  $Fe_{com}$  and total phosphorous were chosen as the main classification parameters. For classification by alkalinity were used alkalinity and pH, for huminity classification were used coefficient of huminity –  $Hum = \sqrt{Color \cdot COD_{Mn}}$  and  $Fe_{com}$ , for trophic state were used huminity class and total phosphorous concentration. The water objects distribution by huminity, alkalinity and trophic state was obtained and basic geochemical classes were picked out. Natural water quality was assessed as combination of geochemical classes. Results of research presented as maps and trends of geochemical classes and natural water quality distribution over the area of Republic of Karelia.*

**Keywords:** *automatic data processing, alkalinity, huminity, trophic state, water quality assessment, water objects classification.*

---

### Введение

В настоящее время в связи с загрязнением окружающей среды всё большую актуальность приобретает вопрос оценки качества природной воды и возможности её применения для конкретных видов водопользования, а также выявления антропогенного влияния на водные объекты. Однако, в связи с тем, что эта оценка проводится по нескольким десяткам химических параметров, данный анализ представляет собой достаточно трудоёмкий и длительный процесс.

### Материалы и методы

Для этих целей автором была разработана автоматизированная система обработки гидрохимической информации и оценки состояния водных объектов (рис.1).

Информационная система обработки гидрохимической информации состоит из программы управления, написанной на языке программирования Delphi и базы данных в формате Paradox, разбитой на несколько взаимосвязанных таблиц. Первая таблица исходных данных включает в себя общую информацию о месте отбора пробы: название объекта, номер станции, географические координаты, горизонт, номер пробы, дата отбора. Вторая группа таблиц содержит гидрологическую информацию об изучаемых объектах. Третья – необходимые для расчетов справочные данные. В четвертой группе таблиц хранятся результаты вычислений. Все таблицы сводятся в общую базу данных программой управления посредством SQL-запросов и индексных полей.

Результаты анализа могут быть представлены в печатном виде или экспортированы в другие системы для дальнейшей обработки.

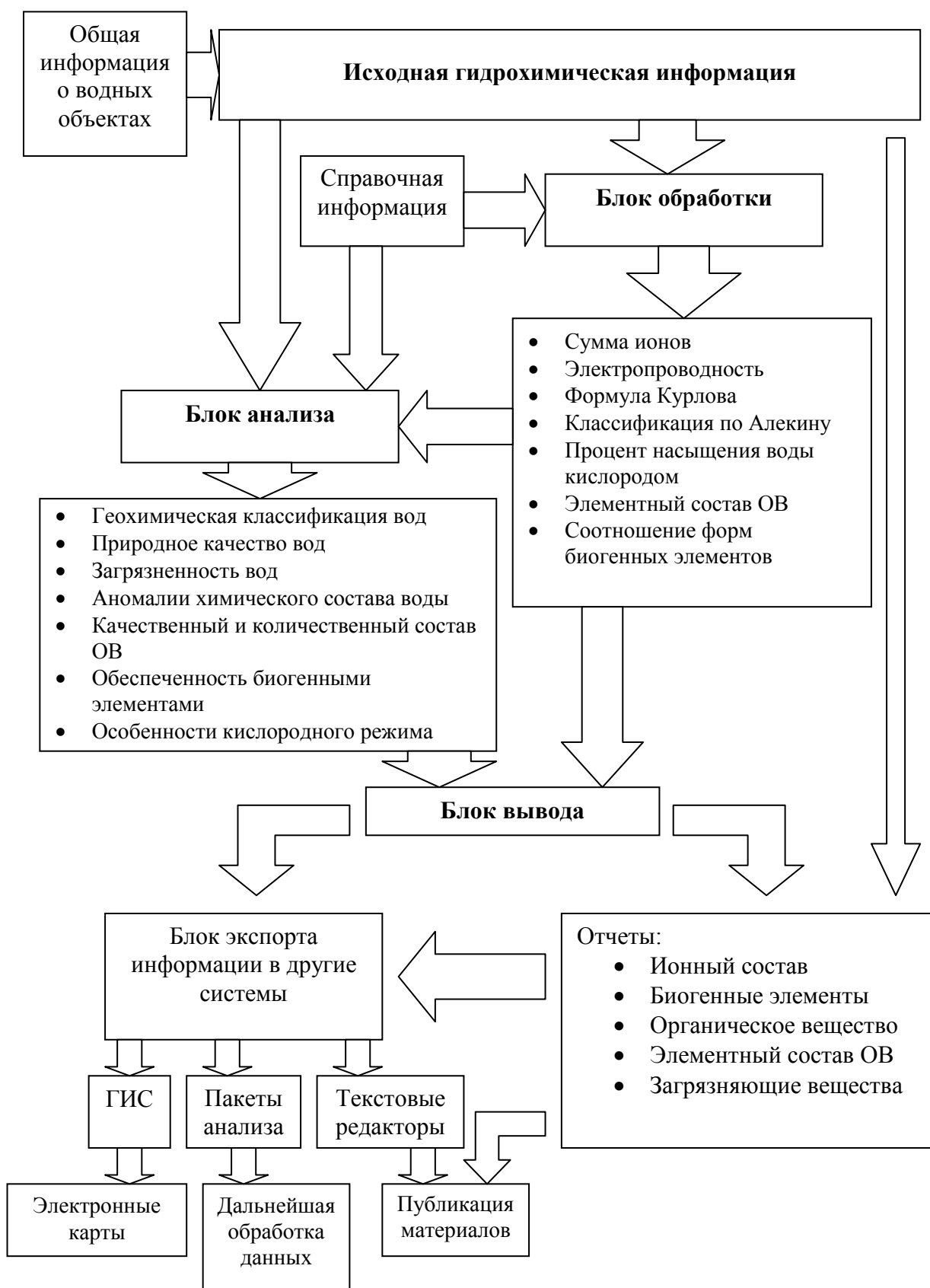


Рис. 1. Схема информационных потоков в системе обработки и анализа гидрохимической информации

При наличии географической привязки к координатной сетке или посредством уникальных кадастровых номеров по результатам анализа с использованием ГИС могут быть построены тематические карты распределения различных показателей.

Система применяется для решения как классических задач гидрохимии, (расчета суммы ионов, электропроводности, формулы Курлова, классификация вод по Алекину, определение степени насыщения воды кислородом) так, и для более сложных исследовательских задач: оценки загрязненности и качества вод, их геохимической классификации, а также выявления природы органического вещества [4].

Обычно классификация водных объектов проводится разбиением общего массива данных на области с однородными параметрами. Однако, в связи с тем, что изменения таких параметров по одному показателю являются непрерывными, все диапазоны оказываются размытыми и устанавливаются переходные области. Нами предложен новый способ классификации объектов по двум связанным параметрам, при этом переходные области между ними должны быть согласованы. Таким образом, в двухмерном пространстве координат этих параметров образуются четкие области, каждая из которых соответствует классу вод. Этот подход позволяет однозначно классифицировать каждый водный объект, не прибегая к четкому разграничению по каждому из параметров.

Основные положения геохимической классификации вод были сформулированы и изложены Лозовиком П.А. [2], которые были использованы для разработки автоматизированной системы классификации и оценки качества водных объектов [6].

Расчеты основных гидрохимических параметров достаточно просты и описаны в соответствующей литературе, поэтому более подробно остановимся на методе геохимической классификации вод.

### Результаты и обсуждение

При классификации водных объектов по щелочности, гумусности и уровню трофии использованы методы нечеткого шкалирования с применением лингвистических переменных [1]. Значения лингвистических переменных во всех случаях задаются с помощью функциональных зависимостей.

Классификация водных объектов по щелочности основывается на эмпирической зависимости рН воды от её щелочности (рис.2), которая имеет четко выраженный экспоненциальный характер. Средние значения для оценки класса щелочности рассчитывались с использованием этой зависимости, полученной по более чем 800 водным объектам Карельского гидрографического района с учётом теоретически обоснованного разбиения шкалы рН с шагом 0,6:

$$Alk = 2 \cdot 10^{-6} e^{2.34pH} \quad (1)$$

В результате выделено 7 классов вод по уровню щелочности: безщелочностные кислые, низкощелочностные кислые, слабощелочностные кислые слабокислые, слабощелочностные слабокислые, среднещелочностные слабокислые нейтральные, среднещелочностные нейтральные слабощелочные, высокощелочностные слабощелочные. При классификации водных объектов по гумусности использовался как показатель гумусности  $Hum = \sqrt{ЦВ \cdot ПО}$  так и содержание общего железа (рис.3). Согласно исследованиям поверхностных вод Карелии [5], установлено, что большее содержание железа соответствует большей гумусности вод. С учетом этого были установлены уравнения для шкалы лингвистических переменных (2а).

$$Hum_n^{\min} = 2.32 \cdot e^{0.834n} \quad n = Hum_{class} : 1..5 \quad (2a)$$

$$Hum_n^{\max} = 2.95 \cdot e^{0.844n} \quad n = Hum_{class} : 1..5$$

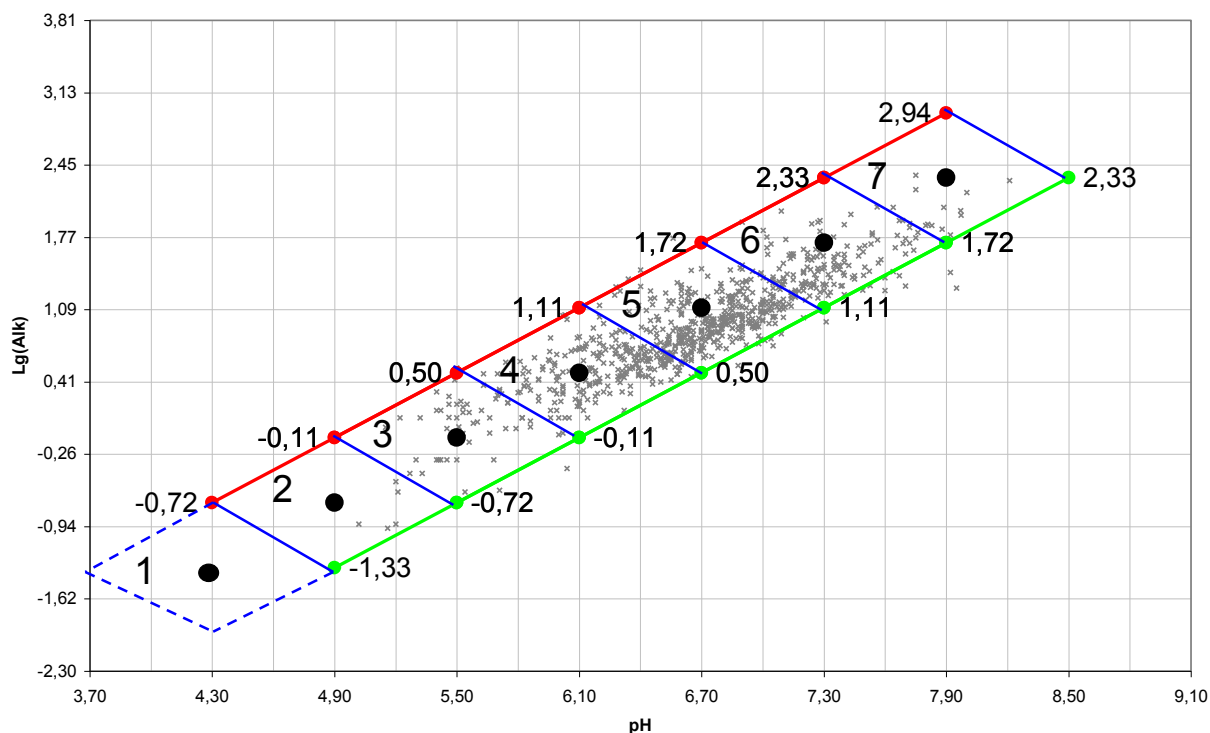


Рис. 2. Классификация водных объектов по рН и щелочности

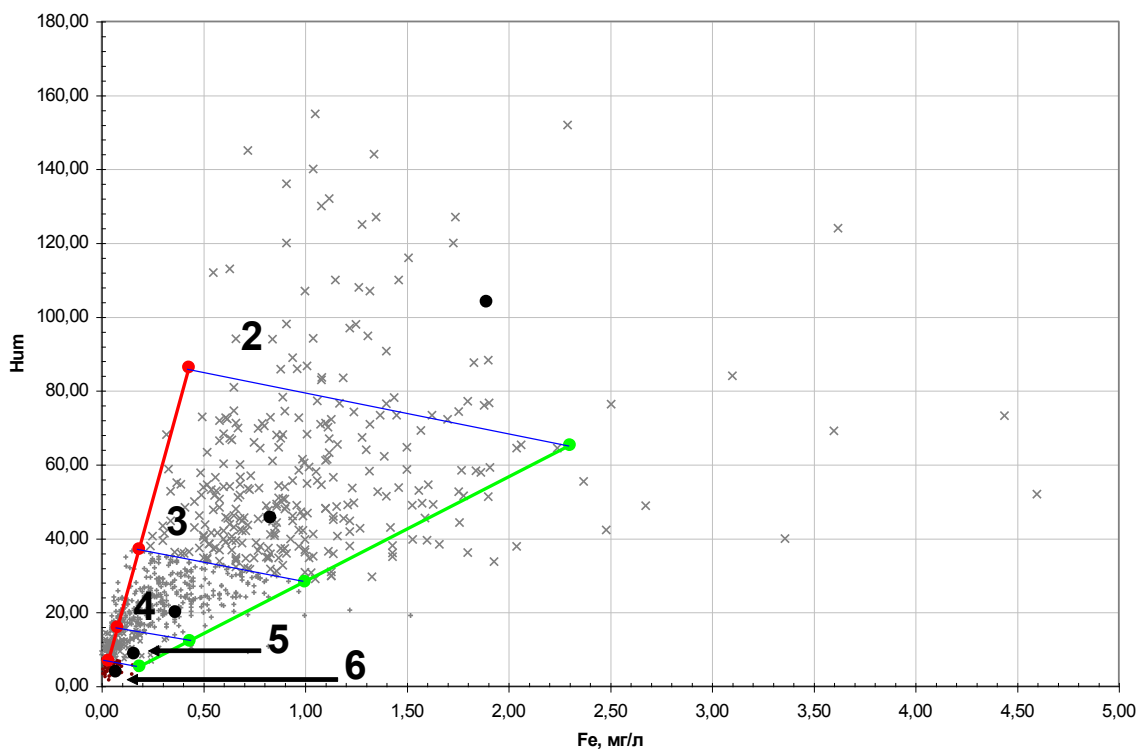


Рис. 3. Классификация водных объектов по гумусности и содержанию железа

Содержание железа рассчитывалось с использованием уравнений краевых прямых (26):

$$[Fe_{общ}]_n^{\min} = \frac{Hum_n^{\min}}{28,32} \quad n = Hum_{Class} : 1..5$$

$$[Fe_{общ}]_n^{\max} = \frac{Hum_n^{\max}}{200,70} \quad n = Hum_{Class} : 1..5$$
(26)

Прямые, проведенные между полученными точками, разбивают пространство координат  $Hum - Fe_{общ}$  на 5 интервалов, которые соответствуют значениям лингвистической переменной «гумусность». В результате выделены следующие пять классов вод: полигумусные, мезополигумусные, мезогумусные, олигогумусные, ультраолигогумусные которым присваивается соответствующий порядковый номер.

Классификация водных объектов по уровню трофии производится с использованием нечеткого шкалирования класса гумусности и концентрации общего фосфора (рис.4).

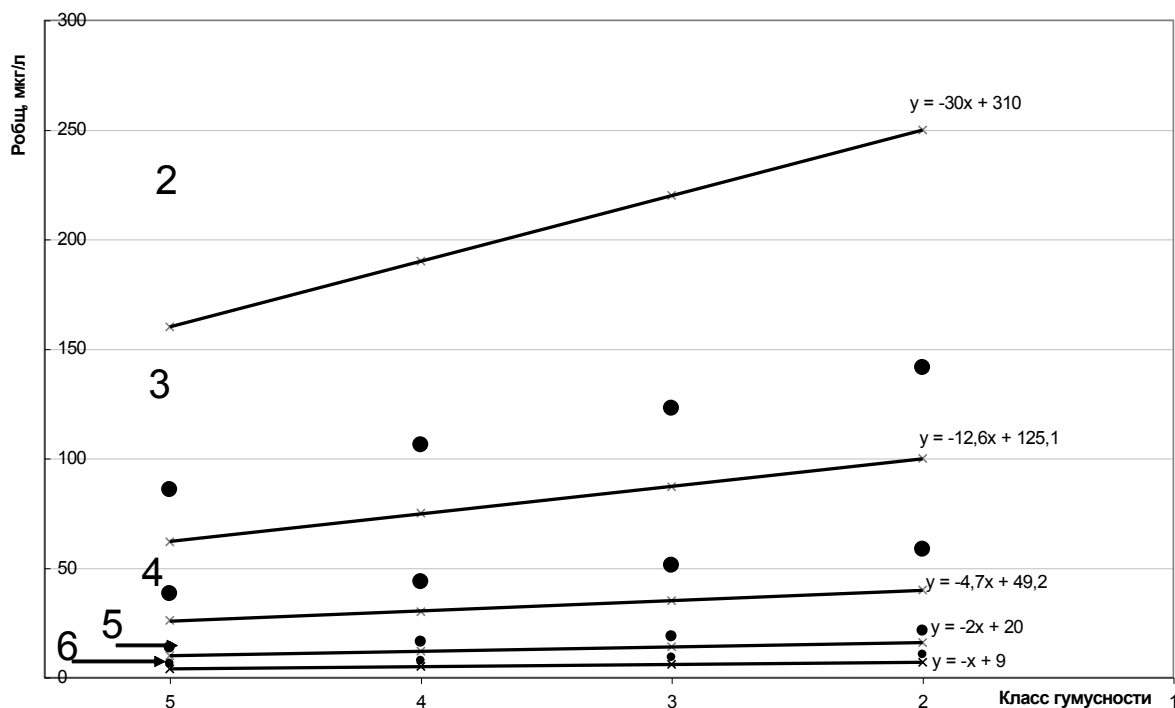


Рис. 4. Классификация водных объектов по уровню трофии

Как и в предыдущих случаях, классы водных объектов определяются посредством построения координатной плоскости по классифицируемым параметрам. В данном случае координатная ось класса гумусности является дискретной, а пятый и шестой классы гумусности рассматриваются как один в связи с незначительной разницей в трофии олиго- и ультраолигогумусных объектов [6]. Поэтому на координатной оси класса гумусности имеется только четыре дискретных значения, в то время как ось общего фосфора является непрерывной.

Получены следующие формулы для шкалирования лингвистической переменной «трофность» (3):

$$\begin{aligned}
 Hum_{Class} = 5,6 \quad P_m^{общ} &= 1,473 \cdot e^{0,916m}, \quad m = 1..6 \\
 Hum_{Class} = 4 \quad P_m^{общ} &= 1,123 \cdot e^{0,938m}, \quad m = 1..6 \\
 Hum_{Class} = 3 \quad P_m^{общ} &= 0,999 \cdot e^{0,938m}, \quad m = 1..6 \\
 Hum_{Class} = 2 \quad P_m^{общ} &= 0,766 \cdot e^{0,959m}, \quad m = 1..6
 \end{aligned} \tag{3}$$

В результате пространство переменных  $P_{общ} - Hum$  разбивается на 6 интервалов, соответствующих следующим значениям лингвистической переменной «трофность» в порядке увеличения номера класса по мере уменьшения содержания железа общего и фосфора общего: гипертрофные, высокоэвтрофные, эвтрофные, мезотрофные, олиготрофные, ультраолиготрофные.

Оценка природного качества вод проводится путем геометрического усреднения баллов качества геохимического класса вод. При этом порядковый номер класса соответствует баллам качества вод, что в определенной степени согласуется с пригодностью воды для питьевого водоснабжения и рыбохозяйственных целей. Соответствующие каждому классу баллы качества: 1- безщелочностные кислые, гипертрофные; 2- низкощелочностные кислые, полигумусные, высокоевтрофные; 3- слабощелочностные кислые слабокислые, мезополигумусные, евтрофные; 4- слабо-щелочностные слабокислые, мезогумусные, мезотрофные; 5- среднещелочностные слабокислые нейтральные, олигогумусные, олиготрофные; 6- среднещелочностные нейтральные слабощелочные, ультраолигогумусные, ультраолиготрофные; 7- высоко-щелочностные слабощелочные. В итоге были выделены пять основных классов качества: 6-7 отличное, 5-6 высокое, 4-5 хорошее, 3-4 удовлетворительное, 2-3 низкое.

Обработка информации по 650 объектам Карельского гидрографического района [3,5,6], показала, что по уровню щелочности наиболее распространенным является класс среднещелочностных слабокислых нейтральных вод. Всего было выявлено 283 объектов этого класса, из них 194 водоема и 89 водотоков. По гумусности вод среди водотоков Республики наиболее широко представлены воды мезополигумусного класса (86 объектов). Среди водоемов наиболее распространен мезогумусный класс, к нему отнесено 246 водных объектов, среди них 190 водоемов. По уровню трофии наиболее представительным является мезотрофный класс вод, к нему отнесено 179 водоемов и 73 водотока. В целом, природное качество большинства водных объектов Республики Карелии средствами экспертной информационной системы оценивается как высокое и хорошее, результаты оценки качества вод представлены на рис. 5.

Полученные результаты согласуются с экспертными оценками [2] полученными по тому же массиву данных.

### **Заключение**

На основании предложенной классификации разработана автоматизированная информационная система оценки качества водных объектов, результаты работы которой согласуются с экспертными оценками, что позволяет использовать описанный метод для решения широкого спектра практических задач в области управления ресурсами и экологии поверхностных вод гумидной зоны.



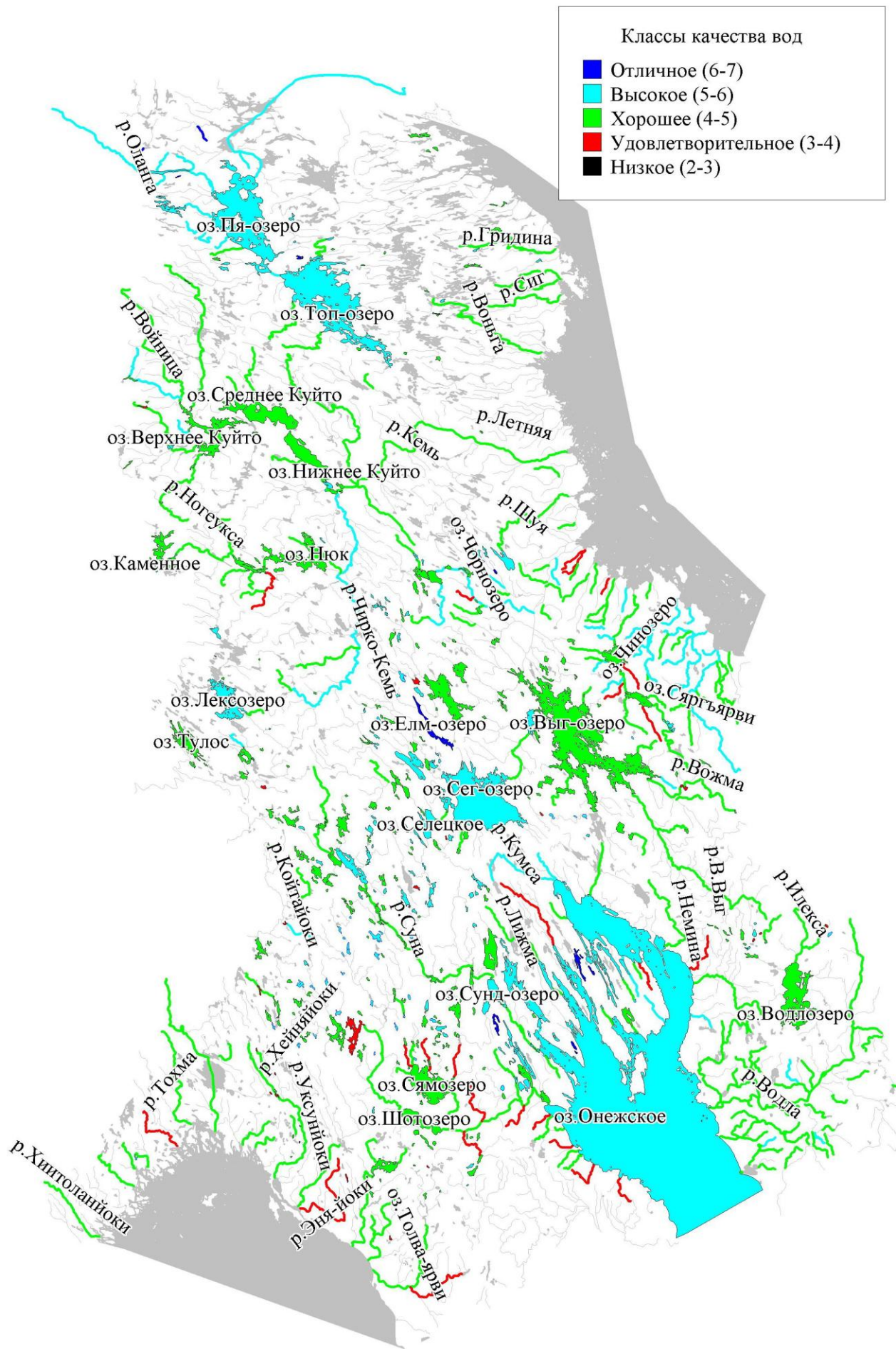


Рис. 5. Карта качества поверхностных вод Карелии

### Summary

Assessment of water quality and classification of water object plays significant role in an environmental and ecology study. Water quality evaluation by hydrochemical parameters is fairly difficult and required a long period of time. Automatic expert system was created to solve this problem. Automatization of objects classification and quality assessment for humus zone based on Karelian water bodies research data are presented in this study. Automation algorithms of the surface water geochemical classification based on the principal chemical transactions was obtained during research. Classification based on implicit scaling data by classification parameter. Alkalinity, pH, huminity,  $Fe_{com}$  and total phosphorous were chosen as the main classification parameters. For classification by alkalinity were used alkalinity and pH, for huminity classification were used coefficient of huminity –  $Hum = \sqrt{Color \cdot permanganate\_oxidation}$  and  $Fe_{com}$ , for tropic state were used huminity class and total phosphorous concentration. The water objects distribution by huminity, alkalinity and tropic state was obtained and basic geochemical classes were picked out. Natural water quality was assessed as combination of geochemical classes. Results of research presented as maps and trends of geochemical classes and natural water quality distribution over the area of Republic of Karelia.

### Список литературы

1. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века». М.: СИНТЕГ, 1998. 376 с.
2. Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук. Москва, 2006. 60 с.
3. Лозовик П.А., Басов М.И., Зобков М.Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова. Химический состав воды. // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. с. 35-47.
4. Лозовик П.А., Морозов А.К., Зобков М.Б., Т.А. Духовичева М.Б., Осипова Л.А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы, 2007. Т. 34, №2. с. 225-237.
5. Лозовик П.А., Рыжаков А.В., Сабылина А.В., Мартынова Н.Н., Белкина Н.А., Калмыков М.В., Платонов А.В., Потапова И.Ю., Зобков М.Б. Исследование процессов формирования химического состава поверхностных вод Карелии // В сб. «Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований». Материалы юбилейной конференции, посвященной 15-летию ИВПС. Петрозаводск, 19–21 сентября 2006 г. с. 249-272.
6. Лозовик П.А., Шкиперова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В. Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям. // Труды Карельского научного центра РАН Вып. 9, Петрозаводск, 2006. с. 130-143