

## ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В.П. Потапов<sup>1</sup>, Е.Л. Счастливцев<sup>1</sup>, Н.И. Юкина<sup>1</sup>, А.А. Быков<sup>1</sup>, И.Е. Харлампенков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,  
Кемеровский филиал, Кемерово, Россия, e-mail: leonakler@mail.ru

**Аннотация:** Рассмотрен новый подход к мониторингу водных ресурсов на основе информационно-вычислительной системы с применением средств актуализации информации на основе потоков данных, что обеспечит экологическую безопасность водных объектов при техногенном воздействии. Представлена структура создания системы мониторинга водных ресурсов. Показана систематизация гидрохимических, гидрологических, физических, микробиологических и паразитических данных и других параметров водных объектов в этой системе. Подробно описаны традиционные методы оценки качества вод (энтропийный, с использованием удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ), оценка качества воды по ассоциативным показателям (АП)), которые входят в состав информационно-вычислительной системы. Протестированы методы на основе искусственного интеллекта для анализа данных водных объектов: градиентный бустинг (Xgboost), случайный лес (RandomForest), логистическая регрессия (LogisticRegression), метод ближайших соседей (k Nearest Neighbors (kNN)), нейронная сеть (Neural network)). Выбран метод с наилучшими результатами — нейронная сеть. Подобраны оптимальные параметры для нейросети. Для выявления ингредиентов, которые значительно ухудшают качество воды, применена матрица корреляции, написанная на языке программирования Python, с использованием библиотек matplotlib и seaborn.

**Ключевые слова:** информационная система, мониторинг, загрязнения, методы оценки качества вод, нейронная сеть, база данных, водные объекты.

**Для цитирования:** Потапов В. П., Счастливцев Е. Л., Юкина Н. И., Быков А. А., Харлампенков И. Е. Информационно-вычислительная система для мониторинга водных ресурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 7. – С. 70–84. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_7\_0\_70.

### Information computer system for water resource monitoring

V.P. Potapov<sup>1</sup>, E.L. Schastlivtsev<sup>1</sup>, N.I. Yukina<sup>1</sup>, A.A. Bykov<sup>1</sup>, I.E. Kharlampenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Research Center for Information and Computing Technologies,  
Kemerovo Branch, Kemerovo, Russia, e-mail: leonakler@mail.ru

**Abstract:** The article discusses a new approach to monitoring water resources using an information computer system with data updating to ensure ecological safety of water bodies under anthropogenic impact. The structure of water resource monitoring system is presented. The collation of hydrochemical, hydrological, physical, microbiological and unwanted parasitic data and parameters of water bodies in this system is demonstrated. A detailed description of the conventional water quality assessment (entropy approach, use of specific combinatorial water

pollution index SCWPI) and water quality evaluation by associative types of indexing included in the information computer system is given. The artificial intelligence-based methods are tested, namely, Gradient Boosting (Xgboost), Random Forest, Logistic Regression, Nearest Neighbors (kNN) and Neural Network. The best results are obtained using the method of Neural Networks. The parameters for the neural networks are optimized. Water quality impurities are revealed using the correlation matrix with Python and Matplotlib and Seaborn libraries.

**Key words:** information system, monitoring, pollution, water quality assessment methods, neural network, data base, water bodies.

**For citation:** Potapov V. P., Schastlivtsev E. L., Yukina N. I., Bykov A. A., Kharlampenkov I. E. Information computer system for water resource monitoring. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(7):70-84. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_7\_0\_70.

---

## Введение

Воздействие горных работ вызывает геомеханические, гидрологические, химические, физико-механические и температурные процессы в окружающей среде. При этом происходят изменения рельефа местности, геологической структуры массива горных пород, механические повреждения почвы, изменения ее состава и возникновение беспочвенных местностей, влекущее за собой уничтожение растительных сообществ. Происходит реконфигурация гидрографической сети, ухудшаются качества аллювиальных вод, характеристики водного режима, почвенного слоя, состав и свойства атмосферного воздуха, вод и почвы, уменьшаются ресурсы подземных вод, русла рек и водотоков. Таким образом, для предотвращения ухудшения состояния окружающей среды необходим постоянный контроль элементов природной среды, в том числе и за водными объектами.

В настоящее время накоплено большое количество данных по водным объектам, и старые способы ведения мониторинга уже неэффективны. Необходимо создание современной информационно-вычислительной системы, в которой будут систематизированы данные по водным объектам и встроены методы для оперативной оценки и анализа данных.

## Общие принципы построения системы мониторинга

С каждым днем все больше и больше накапливается данных о водных ресурсах, и тем самым возникает необходимость обобщения и систематизации их. В работе [1] актуализирована эта проблема. Во многих статьях авторами выдвигаются разные подходы к организации мониторинга водных ресурсов: одни предлагают ранжировать источники загрязнения по степени остроты экологического состояния водохозяйственных объектов [2], другие описывают технологическую и классификационную систему экологического мониторинга, которая включает потоки энергии [3], а третьи — роботизированный катамаран для цифрового мониторинга водных ресурсов [4].

В ФИЦ ИВТ разработана информационно-аналитическая система мониторинга водных ресурсов, обеспечивающая сбор, хранение, обработку массивов больших данных о загрязнении и оценку качества поверхностных и подземных вод, схема взаимодействия элементов в которой представлена на рис. 1. В информационной системе используются потоковые данные, которые передаются по сети Интернет. Протокол, используемый для обмена данными, зависит от модели и особенностей устройства. Это

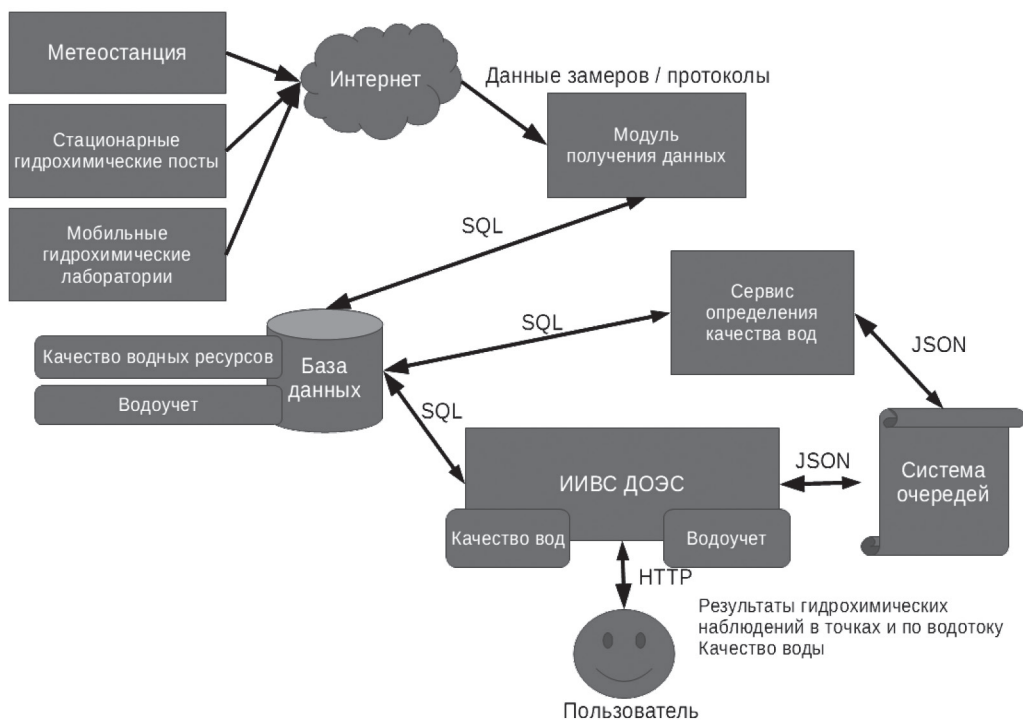


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов системы мониторинга и оценки качества подземных и поверхностных вод

Fig. 1. Interaction pattern of elements in the system of monitoring and quality assessment of ground and surface water

может быть FTP, HTTP, MQTT и т.д., но принимающий модуль должен получить данные, сохранить их во временное хранилище, подтвердить получение и отправить их в систему очередей. Далее обработка осуществляется на основе событийно-ориентированного подхода, где каждое сообщение в очереди рассматривается как событие. Сообщение извлекается другим модулем, который сохраняет данные в постоянную базу данных на основе СУБД PostgreSQL и создает новое сообщение (событие) для оповещения других компонентов. К ним может относиться блок отображения данных, который по протоколу WebSocket пересылает свежие данные клиенту, модули анализа данных, которые, например, отслеживают концентрации загрязняющих веществ и опове-

щают об их превышении предельно допустимых концентраций, и т.д.

Таким образом, информационная система включает в себя следующие компоненты. СУБД PostgreSQL, в рамках которой создается база данных для хранения всей собираемой информации. В ней выделяется специализированная схема для хранения гидрохимических данных, полученных как из лабораторных протоколов (производственный мониторинг), так и с автоматических датчиков. Модель данных основана на триаде «точка мониторинга (название, координаты на местности) — проба/протокол анализа (дата) — расшифровка протокола (загрязняющие вещества и их концентрации)», которая дополняется справочниками по загрязняющим веществам, их ПДК и т.д., и триаде «водный

объект (название) — створ (местоположение) — гидрологические наблюдения (дата, площадь сечения, скорость, расход)».

Используются картографический сервер GeoServer для отображения пространственных данных в сети Интернет по протоколам WMS/WFS/WCS, система очередей RabbitMQ, обеспечивающая связь между отдельными компонентами программы через обмен сообщениями. Для каждого события в системе создается своя очередь. Модуль приема данных с датчиков реализует процедуру обмена данными с использованием технологий Internet of Things (IoT).

Основное приложение информационной системы обеспечивает взаимодействие с пользователем и объединяет все компоненты системы. Реализует CRUD-интерфейс (create, read, update, delete — «создать, прочесть, обновить, удалить») для работы с данными, настройку и отображение электронных карт, управление пользователями и т.д. Публикацию данных замеров включает в себя специализированный сервис на основе протокола Sensor Observation Service (SOS).

Сервисы обработки данных предназначены для решения задач анализа данных и направлены на решение прикладных задач в информационной системе. Работают по схеме: получил задание из очереди — обработал данные — вернул результат в очередь.

Все рассмотренные компоненты упаковываются в контейнеры Docker.

Таким образом, с точки зрения пользователя каждая новая порция данных с датчиков запускает целую цепочку операций. Замеры принимаются модулем приема данных, сохраняются в промежуточное хранилище, и отсылается подтверждение об их получении. Через очередь сообщений происходит оповещение ядра информационной системы.

Запускается процедура сохранения данных в основную базу данных. О новых данных информируется его клиентская часть. Могут быть запущены различные сервисы обработки данных, взаимодействие с которыми также происходит через очередь сообщений. В частности, модуль контроля, за превышением концентраций загрязняющих веществ над предельно допустимой концентрацией в водном объекте, который инициализирует процедуру информирования оператора системы. Картографический сервер взаимодействует с базой данных для отображения накопленных пространственных данных, и его конфигурация может изменяться по командам из основного приложения информационной системы.

#### **Модель базы данных мониторинга поверхностных и подземных вод**

Модель базы данных (рис. 2) можно условно разделить на два основных блока. В первом — объединены в единую структуру результаты гидрохимического и гидрологического мониторинга. Для этого выбран следующий подход. Определяется понятие точки (место на карте, пункт на местности) забора проб воды, который связывается с предприятием и водным объектом. К ней привязывается проба (протокол) с указанием даты и сами результаты гидрохимического, микробиологического и паразитологического анализа. Параллельно сохранение гидрологических наблюдений обеспечивается за счет группы таблиц водный объект — створ (точка мониторинга) — замер (с сохранением профиля дна, скорости, площади сечения и расхода).

Во втором представлена структура данных для организации собственниками водных объектов и водопользователями учета объема забора (изъятия)

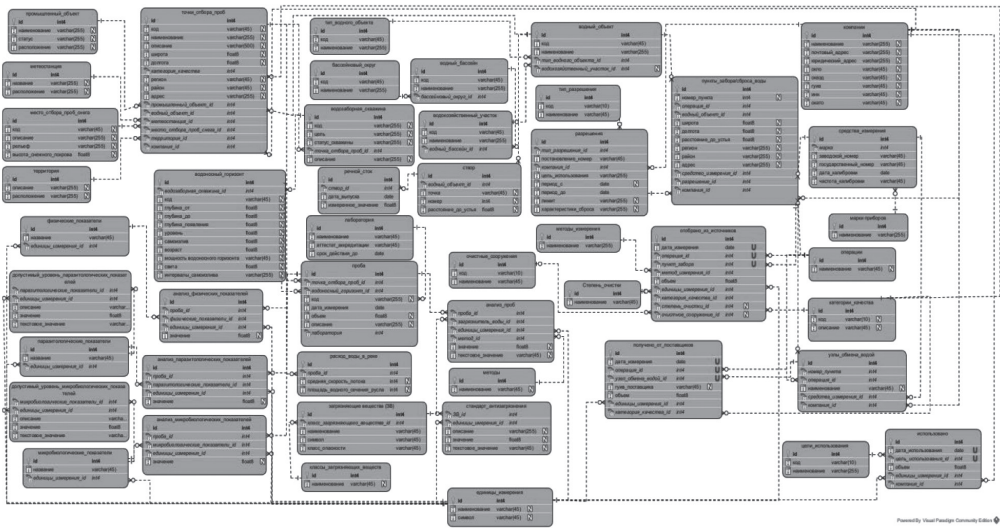


Рис. 2. Схема базы данных мониторинга водных ресурсов  
 Fig. 2. Water resource monitoring data base scheme

водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных вод и (или) дренажных вод. Включает идентификаторы и классификаторы водных объектов. В базе данных отображаются участки водосброса и водозабора (наименование организации, эксплуатирующей водосбросные и водозаборные сооружения, пункта выпуска или забора вод, наиме-

нования средств измерения расходов сточных вод и забора воды, наименование водного объекта). Для учета водопотребления и водоотведения созданы таблицы, которые содержат сведения, соответственно, о ежедневном потреблении и водоотведении воды (дата измерения, показания измерительного прибора, время его работы и расход воды).

Водные ресурсы

Точки отбора

+ ДОБАВИТЬ    В УДАЛИТЬ    CSV    XLS    PDF    СТОЛБЦЫ    ПОКАЗАНО 20 СТОКОВ

Поиск:

Код	Название	Описание	Водный объект	Тип вод	Пид мониторинга	Инструменты
0001	точка 1	выпуск сброса шахтных вод шахты Грамотинская	Мерть	Поверхностные	Мониторинг при инженерно-исследовательских работах	📄 ⚙️ ✂️
0001	точка 5	выпуск сброса шахтных вод шахт "Тобольская" и "Кузнецковская"	Есаулка	Поверхностные	Мониторинг при инженерно-исследовательских работах	📄 ⚙️ ✂️
0001	точка 11	выпуск сброса шахтных вод ш.Томуйинское 5-6	Ольгерас	Поверхностные	Мониторинг при инженерно-исследовательских работах	📄 ⚙️ ✂️
001	Точка 1	Шахтовая вода (Бремберг 50 и горизонт 65)	Ива	Шахтные воды		📄 ⚙️ ✂️
002	Точка 2	ручей Березовый, 500м до сброса	Ива	Поверхностные	Мониторинг при инженерно-исследовательских работах	📄 ⚙️ ✂️
003	Точка 3	Выпуск № 2 в ручей Березовый	Ива	Шахтные воды		📄 ⚙️ ✂️
004	Точка 4	ручей Березовый 300м после сброса	Ива	Поверхностные	Мониторинг при инженерно-исследовательских работах	📄 ⚙️ ✂️
005	Точка 5	Выпуск № 1 река Ива	Ива	Шахтные воды		📄 ⚙️ ✂️

Рис. 3. Общий вид веб-приложения  
 Fig. 3. Web-application, general view

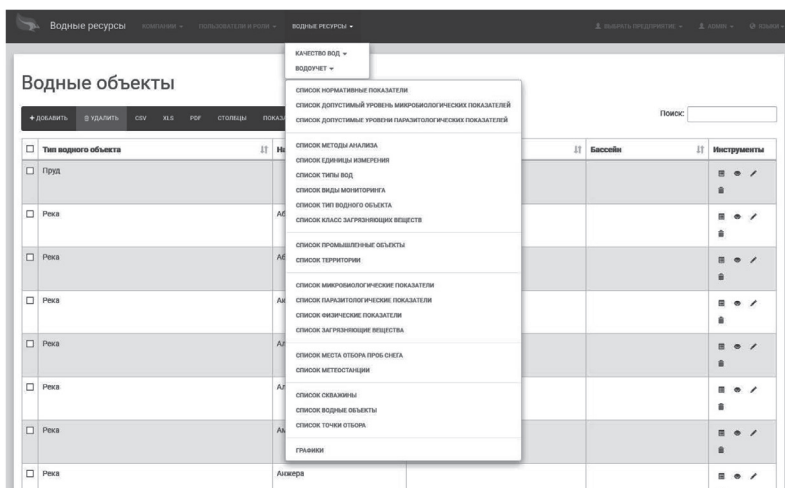


Рис. 4. Меню раздела  
Fig. 4. Menu

В базе данных подробно описаны пункты учета водоотведения и водопотребления (промышленное предприятие, участок, название, широта, долгота, средства учета, периодичность учета, приемник или источник вод).

Для работы с данными создано веб-приложение, общий вид представлен на рис. 3. Меню раздела на рис. 4 включает в себя справочники «Единицы измерения», «Типы вод», «Тип водного объекта», «Класс загрязняющих веществ», «Методы анализа».

### Методы анализа гидрохимических данных водных объектов

Водные объекты характеризуются высокой изменчивостью своих гидрохимических и гидрологических параметров, поэтому целесообразно оценивать не по какой-то одной методике, а применять различные методы в зависимости от обстоятельств. В исследованиях авторы используют разные методы анализа водных объектов, в числе которых такие известные, как метод дистанционного зондирования Земли [5], статистический анализ [6, 7], и менее распро-

страненные, например, оценка качества воды по Poseidon Index (PoS) [8], а также многие другие методы [7, 9–14].

Авторами работы для анализа гидрохимических данных водных ресурсов и для оценки качества вод в системе мониторинга применяются следующие методы: энтропийный [15], оценка качества воды с использованием удель-

### Таблица 1 Классификация качества воды по ассоциативным показателям Water quality classification by associative indices

Класс качества	Название классов	Диапазоны НП и АП
I	очень чистая	< 0,3
II	чистая	0,3÷1
III	умеренно загрязненная	1÷2,5
IV	загрязненная	2,5÷4
V	грязная	4÷6
VI	очень грязная	6÷10
VII	чрезвычайно грязная	10÷20
VIII	экстремально грязная	> 20



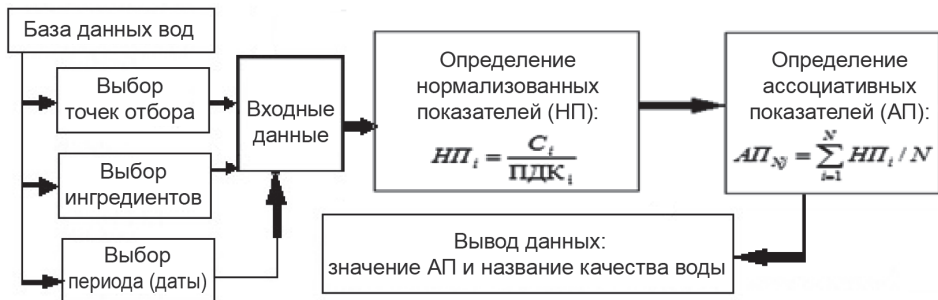


Рис. 5. Алгоритм оценки качества вод по ассоциативным показателям  
 Fig. 5. Water quality assessment algorithm with associative indices

ного комбинаторного индекса загрязненности воды (далее метод УКИЗВ) [16] и оценки качества вод по ассоциативным показателям (далее метод АП) [17–19].

**Метод АП.** В этом методе ассоциативные показатели (АП) определяются как сумма концентраций всех ингредиентов, деленная на соответствующие предельно допустимые концентрации (рис. 5).

Название качества воды определяется по табл. 1 в зависимости от рассчитанного значения АП.

После расчета методом АП пользователю выводится: число и название (АП = 5, качество воды «грязная»).

**Энтропийный метод** (алгоритм представлен на рис. 6). В этом методе распределения примесей в пробах воды подменяются распределениями количества информации о концентрациях ингредиентов и отображаются в пространстве состояний (фазовом пространстве). Загрязненность водного объекта определяется в зависимости от того, в каком квадранте на фазовой плоскости отобразилась проба воды (как правило, в I квадранте отображаются очень грязные, а в III – чистые пробы воды).

После расчета методом ЭП пользователю выводится: диаграмма с точками и эллипсом и таблица с датой проб и значениями X и Y.

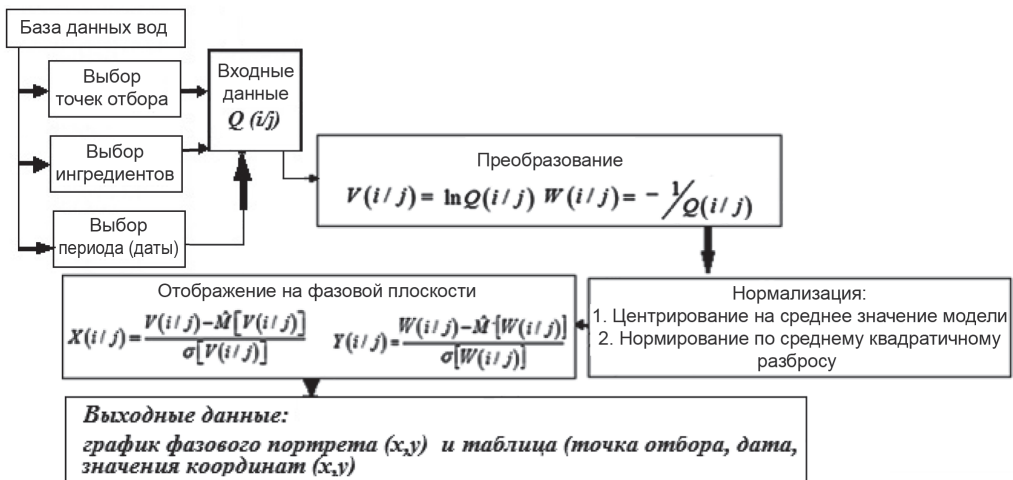


Рис. 6. Алгоритм оценки загрязненности вод энтропийным методом  
 Fig. 6. Water pollution assessment algorithm with entropy method

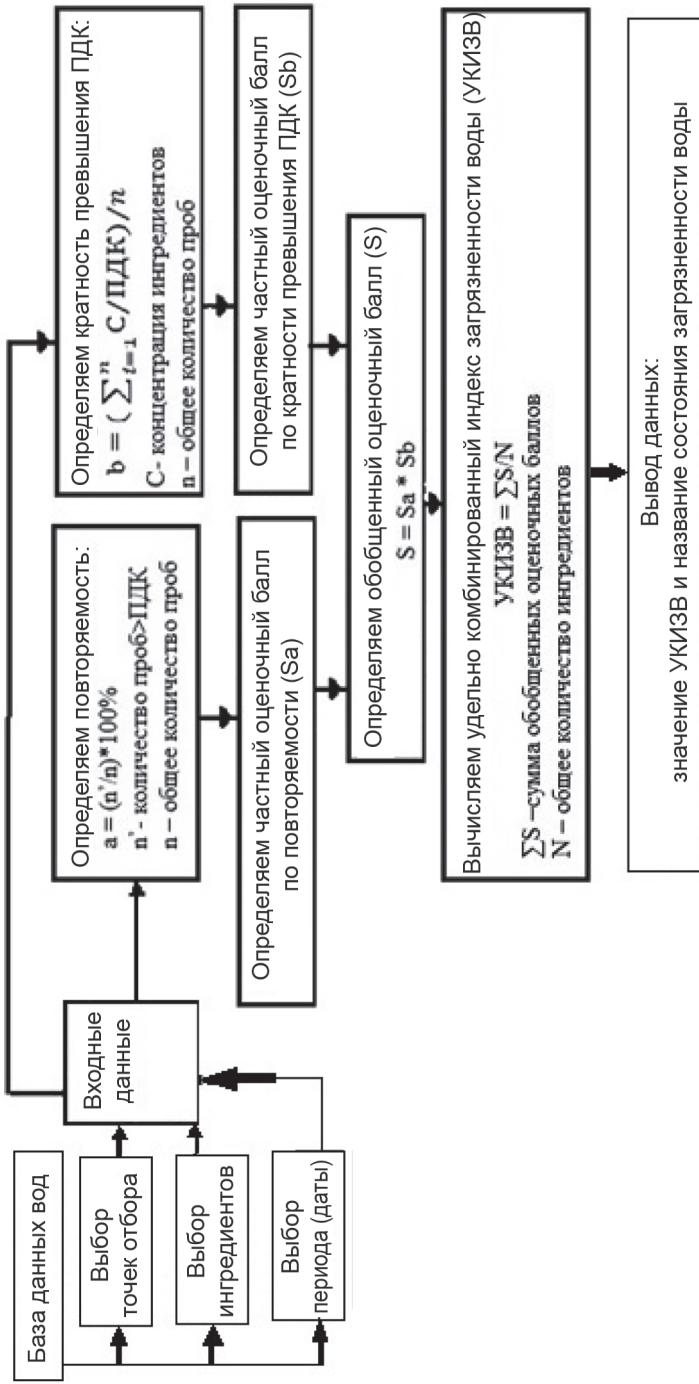


Рис. 7. Алгоритм оценки качества вод по УКИЗВ  
 Fig. 7. Water quality assessment algorithm with SCWPI



Таблица 2

**Классификация качества воды водотоков по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности воды**

**Water quality classification for water passages by specific combinatorial water pollution index**

Класс и разряд	Характеристика состояния загрязненности воды	Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды
		без учета числа КПЗ
1-й	условно чистая	1
2-й	слабо загрязненная	(1; 2]
3-й	загрязненная	(2; 4]
разряд «а»	загрязненная	(2; 3]
разряд «б»	очень загрязненная	(3; 4]
4-й	грязная	(4; 11]
разряд «а»	грязная	(4; 6]
разряд «б»	грязная	(6; 8]
разряд «в»	очень грязная	(8; 10]
разряд «г»	очень грязная	(8; 11]
5-й	Экстремально грязная	(11; ∞]

**Метод УКИЗВ.** Это официальный метод, утвержденный в 2004 г. Росгидрометом. Используется балльная система оценки (рис. 7).

Название состояния загрязненности воды определяется по табл. 2 в зависимости от рассчитанного значения УКИЗВ.

После расчета методом УКИЗВ пользователю выводится: число и название (УКИЗВ = 5, качество воды «грязная»).

Все полученные данные могут импортироваться в Excel.

**Разработка методов оценки качества вод с применением методов искусственного интеллекта**

В настоящее время многие ученые все чаще в исследованиях применяют методы искусственного интеллекта, такие как Random Forest, K-means [20], анализ главных компонент (РСА) [21], кластерный анализ [21, 22] и нейронные сети [23].

Помимо вышеперечисленных методов авторами разработаны и протестированы методы искусственного интеллекта для определения качества воды.

На гидрохимических данных водных проб р. Ускат за период с 1985—2003 гг. (всего 71 проба) по 13 ингредиентам (аммоний, нитраты, нитриты, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, железо, магний, нефтепродукты, ХПК, хлориды, марганец, медь, фенолы) протестировали 5 методов: градиентный бустинг (Xgboost), случайный лес (RandomForest), логистическая регрессия (Logistic Regression), метод ближайших соседей (k Nearest Neighbors (kNN)) и нейронная сеть (Neural network). Качество работы этих методов оценивали показателями: Accuracy, Precision, Recall, F1. Чем ближе к 1 их значение, тем лучше работает метод (табл. 3).

Лучшие показатели — у нейронной сети (80% правильных значений). Не плохо работает градиентный бустинг (70% правильных значений).

Таблица 3

**Результат оценки качества работы методов искусственного интеллекта**  
**Efficiency of artificial intelligence methods**

Методы/ Метрики	Accuracy	Precision	Recall	F1
Xgboost	0,72	0,69	0,66	0,67
RandomForest	0,69	0,57	0,62	0,56
LogisticRegression	0,27	0,25	0,35	0,19
kNN	0,46	0,36	0,34	0,34
Neural network	0,80	0,79	0,83	0,79

**Нейронная сеть  
 для оценки качества вод**

Далее были разработаны оптимальные параметры для нейросети. Экспериментальным путем подбирались функция активации, оптимизатор, количество слоев и нейронов [24].

В результате для анализа качества поверхностных вод Кемеровской об-

ласти разработана (и зарегистрирована в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, Свидетельство № 2020615450) модель глубокой нейросети. Созданная модель нейронной сети разработана на языке Python с применением библиотек TensorFlow и Keras, включает в себя три полносвязных (Dense) слоя с функцией активации –

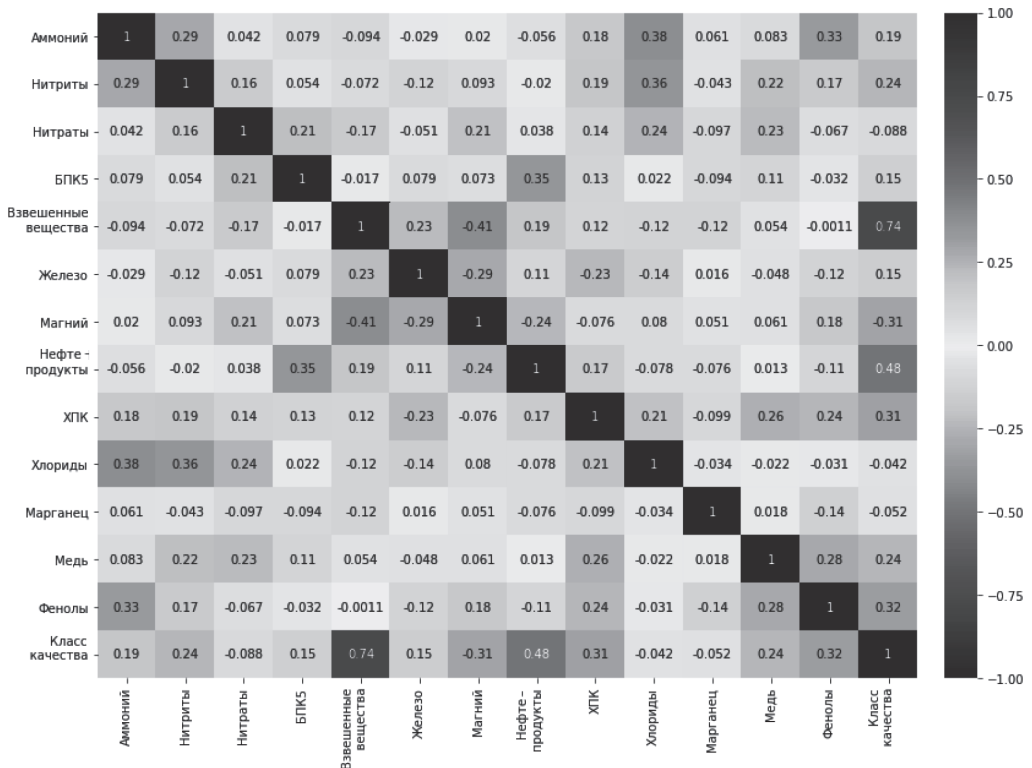


Рис. 8. Матрица корреляции состава водных проб р. Усгат

Fig. 8. Correlation matrix of composition in water samples from the Uskat River

softmax на последнем слое. Модель нейронной сети показала достаточно высокую точность на обучающей (98,96%) и проверочной выборке (96,63%).

### **Матрица корреляции**

Для выявления ингредиентов в водных пробах р. Ускат и ее притоках, которые значительно ухудшают качество воды, применена матрица корреляции (рис. 8), написанная на языке программирования Python с применением библиотек matplotlib и seaborn.

Из матрицы корреляции видно, что на качество вод значительно влияют взвешенные вещества (74% корреляция) и нефтепродукты (48%).

Разработана нейронная сеть для оценки качества воды. Нейронная сеть протестирована на притоках р. Ускат. Полученные показатели точности ее работы говорят о пригодности полученной модели и возможности ее дальнейшего применения для оценки качества вод. С помощью матрицы корреляции выявлены приоритетные ингредиенты, значительно ухудшающие качество воды, что может быть использовано при разработке первоочередных природоохранных мероприятий.

### **Заключение**

Предложен новый подход к мониторингу состояния водных ресурсов на

основе разработанной информационно-вычислительной системы. Система обеспечивает сбор, хранение, обработку и оценку качества поверхностных и подземных вод. Она включает в себя гидрохимические, гидрологические, физические, микробиологические и паразитические данные о водных объектах, а также параметры для учета данных водопотребления и водоотведения предприятий с указанием пунктов сброса и забора воды. Информационная система содержит блок, в который включены методы оценки качества вод разными способами, как традиционными, так и с применением искусственного интеллекта. Имеется возможность получения доступа ко всей информации через взаимодействие пользователя с объектами электронной карты.

Структура информационной системы позволяет внедрять в нее новые модули для получения и усвоения данных, поступающих с устройств, принадлежащих концепции интернета вещей.

Таким образом, разработанная информационно-вычислительная система обеспечивает цифровой мониторинг поверхностных, подземных, природных и техногенных вод с применением средств актуализации информации на основе потоков данных и экологическую безопасность при сбросе загрязняющих веществ в водный объект.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Кравец Е. А.* Проблемы обработки и представления данных мониторинга для получения детальной картины загрязнения водных ресурсов / Материалы XIII международного симпозиума проблемы экоинформатики. — М., 2018. — С. 205—208.
2. *Мельникова Т. Н.* Мониторинг экологического состояния водных ресурсов республики Адыгея / Материалы международной научной конференции «Бисосфера и человек». — Майкоп: ООО «Электронные издательские технологии», 2019. — С. 210—213.
3. *Бондаренко В. Л., Лещенко А. В.* Основы методологического системного комплексного мониторинга экологического состояния объектов деятельности в использовании водных ресурсов / Материалы всероссийской научно-практической конференции «Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель юга России». — Новочеркасск: ООО «Лик», 2017. — С. 120—128.

4. Ченский Д. А., Григорьев К. А., Золотарев Н. С., Ченский А. Г. Роботизированный камазан для цифрового мониторинга водных ресурсов / Труды IX международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (Maresedu-2020)». – Иркутск: ООО «ПолиПРЕСС», 2020. – С. 502–504.

5. Ибраев Т., Ли М. Мониторинг и управление водными ресурсами в республике Казахстан. Монография / Под ред. В. Г. Сычева, Л. Мюллера. – М., 2018. – С. 104–109.

6. *Fashchevskaya T. B., Motovilov Yu. G., Shaidiyanova N. B.* Natural and anthropogenic variations of the concentrations of iron, copper, and zinc in water streams of the republic of bashkortostan // *Water Resources*. Road Town. 2018, vol. 45, no. 6, pp. 873–886. <https://doi.org/10.1134/S0097807818060064> (дата обращения: 12.04.2021).

7. *Ghebrehiwot A. A., Kozlov D. V.* Spatial and statistical variability analyses of satellite-based climatic data in Mereb-Gash basin // *Water Resources*. 2021, vol. 48, no. 1, pp. 146–157. <https://doi.org/10.1134/S0097807821010152> (дата обращения: 12.04.2021).

8. *Gautam S. K., Tripathi J. K., Evangelos T., Singh S. K., Singh A. K.* Environmental monitoring of water resources with the use of PoS index: a case study from Subarnarekha river basin, India // *Environmental Earth Sciences*. 2018, vol. 77, no. 3, pp. 70. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7245-5> (дата обращения: 12.04.2021).

9. Карпуничев А. В. Оценка качества и определение загрязненности воды на примере поверхностных водоемов / Сборник материалов международных научно-практических конференций. – М., 2018. – С. 536–538.

10. *Guanhua Zhang, Wenfeng Ding, Huiying Liu, Liang Yi, Xu Lei, Ouyang Zhang* Quantifying climatic and anthropogenic influences on water discharge and sediment load in Xiangxi river basin of the three gorges reservoir area // *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 204–218. <https://doi.org/10.1134/S0097807821020184> (дата обращения: 12.04.2021).

11. *Runxiang Cao, Li F., Zhao Y.* Dynamic regulation of reservoir drought limit water level // *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 194–203. <https://doi.org/10.1134/S0097807821020147> (дата обращения: 12.04.2021).

12. *Babayan G., Reshetnyak O., Zakrutkin V.* A comparative assessment of river water quality in mountain regions of Russia and Armenia // *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 102–110. <https://doi.org/10.1134/S0097807821010115> (дата обращения: 12.04.2021).

13. *Pavlova A. S., Sandimirov S. S., Kudryavtseva L. P.* The distribution of chemical elements between ecosystem components in Belaya Bay, Lake Imandra, Murmansk Oblast // *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 73–81. <https://doi.org/10.1134/S0097807821010231> (дата обращения: 12.04.2021).

14. *Bin Pan, Mei Han, Yunlong Li, Min Wang, Huan Du* An analysis on the trend of sustainable utilization of water resources in Dongying City, China // *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 158–166. <https://doi.org/10.1134/S009780782101022X> (дата обращения: 12.04.2021).

15. *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*. 2015, vol. 51, no. 1, pp. 186–196.

16. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. РД 52.24.643-2002 от 03.12.2002 г.

17. *Потапов В. П., Мазикин В. П., Счастливцев Е. Л., Вашлаева Н. Ю.* Геоэкология угледобывающих районов Кузбасса. – Новосибирск: Наука, 2005. – 660 с.

18. *Ковалев В. А., Потапов В. П., Счастливцев Е. Л., Шокин Ю. И.* Моделирование геоэкологических систем угледобывающих районов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. – 298 с.

19. *Счастливцев Е. Л., Юкина Н. И., Харлампенков И. Е.* Информационно-аналитическая система геоэкологического мониторинга водных ресурсов угледобывающего региона // *Вестник КузГТУ. Кемерово*. – 2016. – № 2 (114). – С. 157–164.

20. Донцов А. А., Суторихин И. А. Специализированная геоинформационная система мониторинга внутренних водных ресурсов / Тезисы докладов всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. основные результаты и пути развития». — М.: ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета», 2017. — С. 372 — 373.

21. Nemčić-Jurec J., Singh S. K., Jazbec A., Gautam S. K., Kovac I. Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigational purposes: two case studies of Koprivnica-Krizevci County (Croatia) and district Allahabad (India) // Sustainable Water Resources Management. 2017, vol. 5, no. 4. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0200-x> (дата обращения: 12.04.2021).

22. Barzegar R., Asghari Moghaddam A., Tziritis E., Sajjad Fakhri M., Soltani S. Identification of hydrogeochemical processes and pollution sources of groundwater resources in the Marand plain, northwest of Iran // Environmental Earth Sciences. 2017, vol. 76, no. 7, pp. 296. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6612-y> (дата обращения: 12.04.2021).

23. Карапетян Т. А. Использование искусственных нейронных сетей для оценки и прогнозирования речных отложений // Молодой ученый. — 2019. — № 17 (255). — С. 29 — 32. URL: <https://moluch.ru/archive/255/58486/> (дата обращения: 12.04.2021).

24. Потапов В. П., Счастливец Е. Л., Юкина Н. И., Харлампенков И. Е. Глубокие нейронные сети для оценки качества вод // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — СВ 37. — С. 569–577. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-569-577. **ИВАБ**

## REFERENCES

1. Kravets E. A. Problems of processing and presenting monitoring data to obtain a detailed picture of water pollution. *Materialy XIII mezhdunarodnogo simpoziuma problemy ekoinformatiki* [XIII Ecoinformatics Symposium Proceedings], Moscow, 2018, pp. 205 — 208. [In Russ].

2. Mel'nikova T. N. Monitoring of the ecological state of water resources of the Republic of Adygea. *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Biosfera i chelovek»* [International Man and Biosphere Conference Proceedings], Maykop, 2019, pp. 210 — 213. [In Russ].

3. Bondarenko V. L., Leshchenko A. V. Fundamentals of methodological systemic integrated monitoring of the ecological state of objects of activity in the use of water resources. *Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo. Puti povysheniya effektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti melioratsiy zemel' yuga Rossii»* [Melioration and Water Economy. Improvement of Efficiency and Environmental Safety of Land Reclamation in Southern Russia: All-Russian Conference Proceedings], Novocherkassk, ООО «Lik», 2017, pp. 120 — 128. [In Russ].

4. Chenskiy D. A., Grigor'ev K. A., Zolotarev N. S., Chenskiy A. G. Robotic catamaran for digital monitoring of water resources. *Trudy IX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Morskije issledovaniya i obrazovanie (Maresedu-2020)»* [Marine Research and Education: IX International Conference Proceedings], Irkutsk, ООО «PoliPRESS», 2020, pp. 502 — 504. [In Russ].

5. Ibraev T., Li M. *Monitoring i upravlenie vodnymi resursami v respublike Kazakhstan*. Monografiya. Pod red. V. G. Sycheva, L. Myullera [Monitoring and management of water resources in the Republic of Kazakhstan. Monograph. Sychev V. G., Myuller L. (Eds.)], Moscow, 2018, pp. 104 — 109.

6. Fashchevskaya T. B., Motovilov Yu. G., Shaidiyanova N. B. Natural and anthropogenic variations of the concentrations of iron, copper, and zinc in water streams of the republic of bashkortostan. *Water Resources. Road Town*. 2018, vol. 45, no. 6, pp. 873 — 886. available at: <https://doi.org/10.1134/S0097807818060064> (accessed 12.04.2021).

7. Ghebrehiwot A. A., Kozlov D. V. Spatial and statistical variability analyses of satellite-based climatic data in Mereb-Gash basin. *Water Resources*. 2021, vol. 48, no. 1, pp. 146–157. available at: <https://doi.org/10.1134/S0097807821010152> (accessed 12.04.2021).

8. Gautam S. K., Tripathi J. K., Evangelos T., Singh S. K., Singh A. K. Environmental monitoring of water resources with the use of PoS index: a case study from Subarnarekha river basin, India. *Environmental Earth Sciences*. 2018, vol. 77, no. 3, pp. 70. available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7245-5> (accessed 12.04.2021).

9. Karpunichyev A. V. *Otsenka kachestva i opredelenie zagryaznennosti vody na primere poverkhnostnykh vodoemov*. Sbornik materialov mezhdunarodnykh nauchno-prakticheskikh konferentsiy [Assessment of the quality and determination of water pollution on the example of surface water bodies. Collection of materials of international scientific and practical conferences], Moscow, 2018, pp. 536–538.

10. Guanhua Zhang, Wenfeng Ding, Huiying Liu, Liang Yi, Xu Lei, Ouyang Zhang Quantifying climatic and anthropogenic influences on water discharge and sediment load in Xiangxi river basin of the three gorges reservoir area. *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 204–218. available at: <https://doi.org/10.1134/S0097807821020184> (accessed 12.04.2021).

11. Runxiang Cao, Li F., Zhao Y. Dynamic regulation of reservoir drought limit water level. *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 194–203. available at: <https://doi.org/10.1134/S0097807821020147> (accessed 12.04.2021).

12. Babayan G., Reshetnyak O., Zakrutkin V. A comparative assessment of river water quality in mountain regions of Russia and Armenia. *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 102–110. available at: <https://doi.org/10.1134/S0097807821010115> (accessed 12.04.2021).

13. Pavlova A. S., Sandimirov S. S., Kudryavtseva L. P. The distribution of chemical elements between ecosystem components in Belaya Bay, Lake Imandra, Murmansk Oblast. *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 73–81. available at: <https://doi.org/10.1134/S0097807821010231> (accessed 12.04.2021).

14. Bin Pan, Mei Han, Yunlong Li, Min Wang, Huan Du An analysis on the trend of sustainable utilization of water resources in Dongying City, China. *Water Resources*. 2021, vol. 48, pp. 158–166. available at: <https://doi.org/10.1134/S009780782101022X> (accessed 12.04.2021).

15. 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*. 2015, vol. 51, no. 1, pp. 186–196.

16. *Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam. Metodicheskie ukazaniya RD 52.24.643-2002 ot 03.12.2002g.* [Method for a comprehensive assessment of the degree of pollution of surface waters by hydrochemical indicators. Methodical instructions RD 52.24.643-2002 from 03.12.2002]. [In Russ].

17. Potapov V. P., Mazikin V. P., Schastlivtsev E. L., Vashlaeva N. Yu. *Geoekologiya ugledobyvayushchikh rayonov Kuzbassa* [Geoecology of coal-mining regions of Kuzbass], Novosibirsk, Nauka, 2005. 660 p.

18. Kovalev V. A., Potapov V. P., Schastlivtsev E. L., Shokin Yu. I. *Modelirovanie geoekologicheskikh sistem ugledobyvayushchikh rayonov* [Modeling geoecological systems of coal mining areas], Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2015, 298 p.

19. Schastlivtsev E. L., Yukina N. I., Kharlampenkov I. E. Information and analytical system of geoecological monitoring of water resources in a coal mining region. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Kemerovo. 2016, no. 2 (114), pp. 157–164. [In Russ].

20. Dontsov A. A., Sutorikhin I. A. Specialized geographic information system for monitoring inland water resources. *Tezisy dokladov vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy. osnovnye rezul'taty i puti razvitiya»* [Environment and Pollution Monitoring. Major Results and Development Routes: All-Russian Conference Head-Notes], Moscow, 2017, pp. 372–373. [In Russ].

21. Nemčić-Jurec J., Singh S. K., Jazbec A., Gautam S. K., Kovac I. Hydrochemical investigations of groundwater quality for drinking and irrigational purposes: two case studies of



Koprivnica-Krizevci County (Croatia) and district Allahabad (India). *Sustainable Water Resources Management*. 2017, vol. 5, no. 4. available at: <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0200-x> (accessed 12.04.2021).

22. Barzegar R., Asghari Moghaddam A., Tziritis E., Sajjad Fakhri M., Soltani S. Identification of hydrogeochemical processes and pollution sources of groundwater resources in the Marand plain, northwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2017, vol. 76, no. 7, pp. 296. available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6612-y> (accessed 12.04.2021).

23. Karapetyan T. A. Using artificial neural networks to assess and predict river sediments. *Molodoy uchenyy*. 2019, no. 17 (255), pp. 29–32. [In Russ]. available at: <https://moluch.ru/archive/255/58486/> (accessed 12.04.2021).

24. Potapov V. P., Schastlivtsev E. L., Yukina N. I., Kharlampenkov I. E. Deep neural networks for water quality assessment. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019. Special edition 37, pp. 569–577. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-569-577.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Потапов Вадим Петрович<sup>1</sup> — д-р техн. наук, профессор, директор, e-mail: [vadimptpv@gmail.com](mailto:vadimptpv@gmail.com),

Счастливцев Евгений Леонидович<sup>1</sup> — д-р техн. наук, зав. лабораторией, e-mail: [schastlivtsev@ict.sbras.ru](mailto:schastlivtsev@ict.sbras.ru),

Юкина Наталья Ивановна<sup>1</sup> — канд. техн. наук, научный сотрудник, e-mail: [leonakler@mail.ru](mailto:leonakler@mail.ru),

Быков Анатолий Александрович<sup>1</sup> — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, e-mail: [bykov@icc.kemsc.ru](mailto:bykov@icc.kemsc.ru),

Харлампенков Иван Евгеньевич<sup>1</sup> — канд. техн. наук, научный сотрудник, e-mail: [harlampenkov@ict.sbras.ru](mailto:harlampenkov@ict.sbras.ru),

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Кемеровский филиал.

**Для контактов:** Юкина Н.И., e-mail: [leonakler@mail.ru](mailto:leonakler@mail.ru).

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.P. Potapov<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Director of the Kemerovo Branch Federal Research Center for Information and Computing Technologies, e-mail: [vadimptpv@gmail.com](mailto:vadimptpv@gmail.com),

E.L. Schastlivtsev<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Head of Laboratory, e-mail: [schastlivtsev@ict.sbras.ru](mailto:schastlivtsev@ict.sbras.ru),

N.I. Yukina<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Researcher, e-mail: [leonakler@mail.ru](mailto:leonakler@mail.ru),

A.A. Bykov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), Senior Researcher, e-mail: [bykov@icc.kemsc.ru](mailto:bykov@icc.kemsc.ru),

I.E. Kharlampenkov<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Researcher, e-mail: [harlampenkov@ict.sbras.ru](mailto:harlampenkov@ict.sbras.ru),

<sup>1</sup> Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Kemerovo Branch, Kemerovo, Russia.

**Corresponding author:** N.I. Yukina, e-mail: [leonakler@mail.ru](mailto:leonakler@mail.ru).

Получена редакцией 05.04.2021; получена после рецензии 06.05.2021; принята к печати 10.06.2021.

Received by the editors 05.04.2021; received after the review 06.05.2021; accepted for printing 10.06.2021.