

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 543.31

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД
ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ЦВЕТОМЕТРИИ ИНДИКАТОРНЫХ
БУМАГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМАРТФОНА**

**Зин Алабдин Чалави Шаока¹, Василий Григорьевич Амелин¹,
Роман Владимирович Репкин¹**

¹ Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых

Автор, ответственный за переписку: Василий Григорьевич Амелин,
amelinvg@mail.ru

Аннотация. Предложено тест-устройство на основе целлюлозной бумаги для идентификации и классификации природных минеральных вод Владимирской области, содержащее индикаторные зоны для определения общей жесткости, щелочности и pH воды, а также концентраций хлоридов и сульфатов. Цветометрические параметры индикаторных зон тест-устройства после контакта с исследуемой водой определяли с помощью смартфона. В качестве аналитического сигнала использовали значения цветометрических параметров каждой индикаторной зоны в системе RGB. Обработку массива данных проводили методами главных компонент (principal component analysis, PCA) и иерархического кластерного анализа (hierarchical clustering analysis, HCA). Проведена идентификация и классификация 13 природных минеральных вод Владимирской области, 7 из которых газированные.

Ключевые слова: природные минеральные воды, идентификация, цифровая цветометрия, смартфон, индикаторная бумага.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках бюджетного финансирования ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ).

Для цитирования: Шаока З.А.Ч., Амелин В.Г., Репкин Р.В. Идентификация природных минеральных вод Владимирской области по цветометрии индикаторных бумаг с использованием смартфона // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2. Химия. Т. 63. № 3. С. 233–243.

ORIGINAL ARTICLE

**IDENTIFICATION OF NATURAL MINERAL WATERS
VLADIMIR REGION BY COLORIMTRY OF INDICATOR PAPERS
USING A SMARTPHONE**

Zen Alabden Chalawi Shogah¹, Vasily G. Amelin¹, Roman V. Repkin¹

¹ Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs

Corresponding author: Vasily G. Amelin, amelinvg@mail.ru

Annotation. A test device based on cellulose paper for identification and classification of natural mineral waters of the Vladimir region is proposed, containing indicator zones for determining the total hardness, alkalinity and pH of water, as well as the concentrations of chlorides and sulfates. The colorimetric parameters of the indicator

zones of the test device after contact with the test water were determined using a smartphone. The values of the colorimetric parameters of each indicator zone in the RGB system were used as the analytical signal. The data set was processed by principal component analysis (PCA) and hierarchical clustering analysis (HCA). Identification and classification of 13 natural mineral waters of the Vladimir region (7 of them carbonated) were carried out.

Keywords: natural mineral waters, identification, digital colorimetry, smartphone, indicator paper

Financial Support. The study was carried out within the framework of budget financing of the Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nikolai Grigoryevich Stoletov (VISU).

For citation: Shogah Z.A.Ch., Amelin V.G., Repkin R.V. Identification of Natural Mineral Waters Vladimir Region by Colorimetry of Indicator Papers Using a Smartphone // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2. Chemistry. T. 63. N 3. P. 233–243.

Методы цифровой цветометрии все чаще используются для решения различных проблем аналитического контроля [1–3]. Их отличает простота аппаратного оформления, возможность использования в качестве цветорегистрирующих устройств цифровой фото-, видео- и оптической офисной техники. Значительный потенциал развития цветометрии обусловлен разработкой современных смартфонов и специализированного программного обеспечения [4, 5].

В последние годы все чаще встречаются публикации, посвященные идентификации и определению различных веществ с использованием смартфона и хемометрического анализа. Так, в работах [6, 7] для идентификации и определения 20 токсичных газов (NH_3 , HF, H_2S , HCN, фосген и др.) предложена матрица из полиэтилентерефталата, в которую включены 36 индикаторных зон. В качестве индикаторов-сенсоров использованы металлопорфирины, соли металлов, кислотнo-основные индикаторы и вапохромные соединения. Индикаторные зоны изменяли цвет после контакта матрицы с исследуемыми газами. Матрицу сканировали и определяли значения *RGB* для каждой индикаторной зоны. Для идентификации массив данных *RGB* (108) обрабатывали методом иерархического кластерного анализа при разных концентрациях аналитов.

Предложена идентификация нестероидных противовоспалительных средств (НПВС) с использованием метода цифровой цветометрии и способа главных компонент [8]. Анализируемые растворы НПВС помещали в лунки планшета из полипропилена и добавляли реагенты-сенсоры. Использовали 8 реагентов: растворы ме-

тилового оранжевого, сульфородамина, 1-гидрокси-пирена, хлорид железа и др. Проводили сканирование планшета. В качестве аналитического сигнала использовали разность светлот цветовых каналов для лунки с аналитом и без аналита. Показана успешность идентификации салициловой и ацетилсалициловой кислот, ибупрофена, ацеклофенака, парацетамола.

Предложено использовать смартфон, тест-устройство и хемометрический анализ в идентификации аминов [9]. Тест-устройство представляет собой мембрану из ацетата целлюлозы, на которую нанесены пять индикаторов (размер зон 11 мм): ализарин, бромфеноловый синий, хлорфеноловый красный, метиловый красный и тимоловый синий. Использование полученных с помощью смартфона значений *RGB* в методе главных компонент и иерархического кластерного анализа позволило идентифицировать триэтиламин, изобутиламин и изопентиламин в испорченном мясе.

Проведена идентификация пяти взрывчатых веществ (триацетона трипероксида, гексаметилен трипероксида диамина, 4-амино-2-нитрофенола, нитробензола и пикриновой кислоты) в почве [10]. В качестве тест-устройства использовали целлюлозную бумагу с нанесенными на нее индикаторными зонами с креатином, йодидом калия и анилином. Использование значений *RGB*, полученных с помощью смартфона, метода главных компонент и иерархического кластерного анализа позволило идентифицировать и полуколичественно определить взрывчатые вещества.

Классификация девяти природных минеральных вод Бразилии проведена с использованием цветометрии смартфоном и хемометрики

[11]. В качестве индикаторов использовали эриохромовый черный Т и мурексид для определения суммарного содержания кальция и магния. Измерения цветометрических параметров (*RGB*) проводили в освещаемом боксе в кюветах с растворами проб воды и реагентов. Для идентификации использовали метод *k*-NN (метод ближайшего соседа). Не удалось идентифицировать два образца воды с близким содержанием кальция и магния. Для более точной идентификации и классификации авторы предлагают использовать большее число колориметрических реагентов.

Ранее нами была показана принципиальная возможность применения метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой для установления географического происхождения и выявления факта фальсификации природных минеральных вод по соотношению концентраций редкоземельных элементов и соотношению стабильных изотопов свинца [12].

В настоящей статье рассмотрено применение цветометрии с использованием смартфона и тест-устройств для идентификации различных веществ, предложен простой и недорогой способ идентификации и классификации природных минеральных вод Владимирской области.

Владимирская область находится на Восточно-Европейской равнине – одной из крупнейших по площади равнин мира. В основе этой равнины расположена плита древней Русской платформы, что в значительной степени определило ее геологическое строение, рельеф и минерально-сырьевую базу. По данным геологических изысканий, во Владимирской области находится 71 разведанное месторождение (участок) пресных подземных вод с минерализацией менее 1,0 г/л, из них более 50 пригодны для эксплуатации. Главная полоса распространения водоносных (в том числе артезианских) известковых отложений идет от побережья р. Клязьма у г. Ковров на юго-восток до верховьев рек Судогда, Колпь, Унжа и Ушна. Эта полоса проходит по территориям Ковровского, Вязниковского, Судогодского, Меленковского, Муромского, Селивановского и Гусь-Хрустального районов. Особняком расположены месторождения подземных вод Ополя в Суздальском, Собинском и Юрьев-Польском районах, связанные с карбонатными породами, перекрытыми ледниковыми моренными отложениями (рис. 1).

Для развития и использования минерально-сырьевой базы Владимирской области необхо-

димы изучение комплекса карбонатных пород, минерально-сырьевых запасов территории Окско-Цнинского вала и его обрамления, переоценка запасов ранее разведанных минеральных и подземных вод в свете современных требований, а также сырьевое обеспечение и развитие местных производств.

В настоящей работе предложено использовать тест-устройство на основе целлюлозной бумаги, состоящее из семи индикаторных зон для идентификации и классификации природных минеральных вод Владимирской области, регистрацию аналитического сигнала смартфоном и обработку массива данных методами главных компонент и иерархического кластерного анализа.

Экспериментальная часть

Аппаратура. Для изучения оптических и цветометрических характеристик в качестве цветорегистрирующего устройства использовали смартфон «iPhone X» («Apple», США), оснащенный специализированным программным обеспечением RGBer.

В работе применяли аналитические весы «Pioneer PA 214C» специального класса точности с пределом взвешивания 0,1 мг («Ohaus Corporation», США), дозаторы «Proline Biohit» одноканальные механические с переменным объемом 2–20, 100–1000 и 1000–5000 («Biohit», Финляндия).

Реактивы. Растворы готовили с использованием деионизированной воды (15–18 МОм×см, ОСТ 11 029.003-80). Применяли тетраборат натрия, эриохромовый черный Т, сульфат серебра, дихромат калия, хлорид бария, конго красный, лимонную кислоту, феноловый красный, нейтральный красный, бромтимоловый синий («Sigma-Aldrich», США).

Изготовление тест-устройства для анализа. Использовали целлюлозную бумагу для хроматографии «Whatman 17 Chr» («Cytiva», США). Для изготовления тест-устройства бумагу замачивали однократно или двукратно (с сушкой перед повторным замачиванием) в растворах реагентов с последующей сушкой (табл. 1).

Из полученной индикаторной бумаги изготавливали тест-устройство (рис. 2) и после нанесения пробы воды проводили измерения цветометрических параметров.

Проведение анализа. Для проведения анализа воду разных партий в стеклянной и пластиковой таре приобретали в супермаркетах г. Владимир в период с апреля по июль 2021 г. Анализ

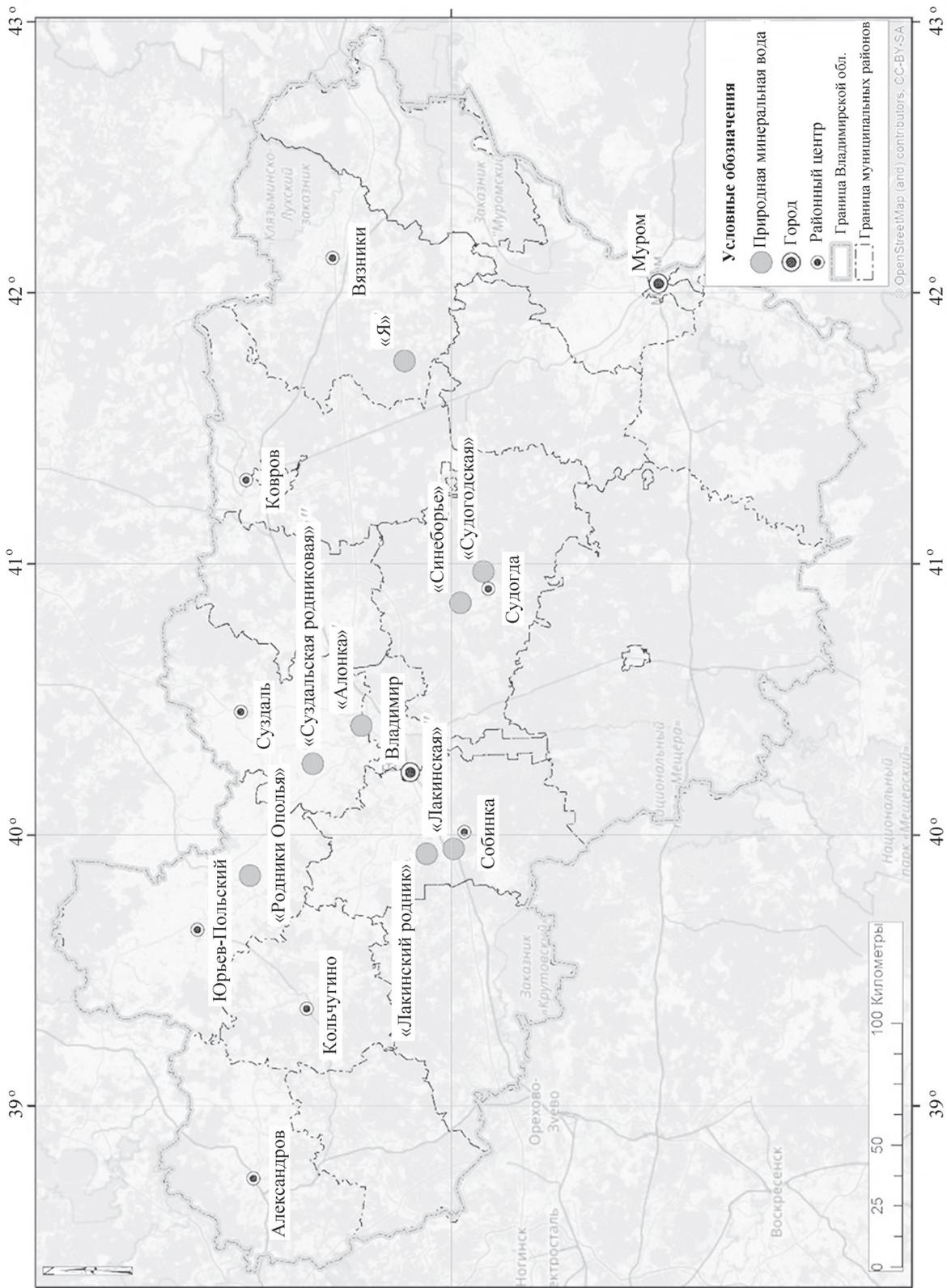


Рис. 1. География природных минеральных вод Владимирской области

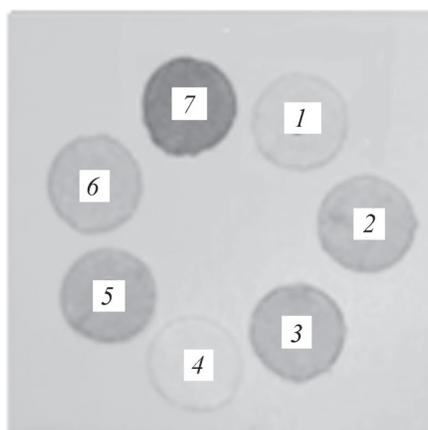


Рис. 2. Тест-устройство и схема расположения индикаторных зон. 1 – pH, 2 – сульфаты, 3 – щелочность, 4 – pH1, 5 – pH2, 6 – хлориды, 7 – жесткость

проводили сразу после вскрытия бутылки с водой. На индикаторные зоны наливали по 5 мкл исследуемой воды, через 10–15 мин тест-устройство помещали в бокс (15×10×8 см) и фотографировали его смартфоном со вспышкой (рис. 3).

Цветометрические характеристики индикаторных зон определяли программой RGBer

на смартфоне. Аналитический сигнал (A_r) для каждой индикаторной зоны рассчитывали по формуле:

$$A_r = \sqrt{(R_0 - R_x)^2 + (G_0 - G_x)^2 + (B_0 - B_x)^2},$$

где $R_0, G_0, B_0, R_x, G_x, B_x$ – цифровые значения интенсивностей красного, зеленого, синего цветов

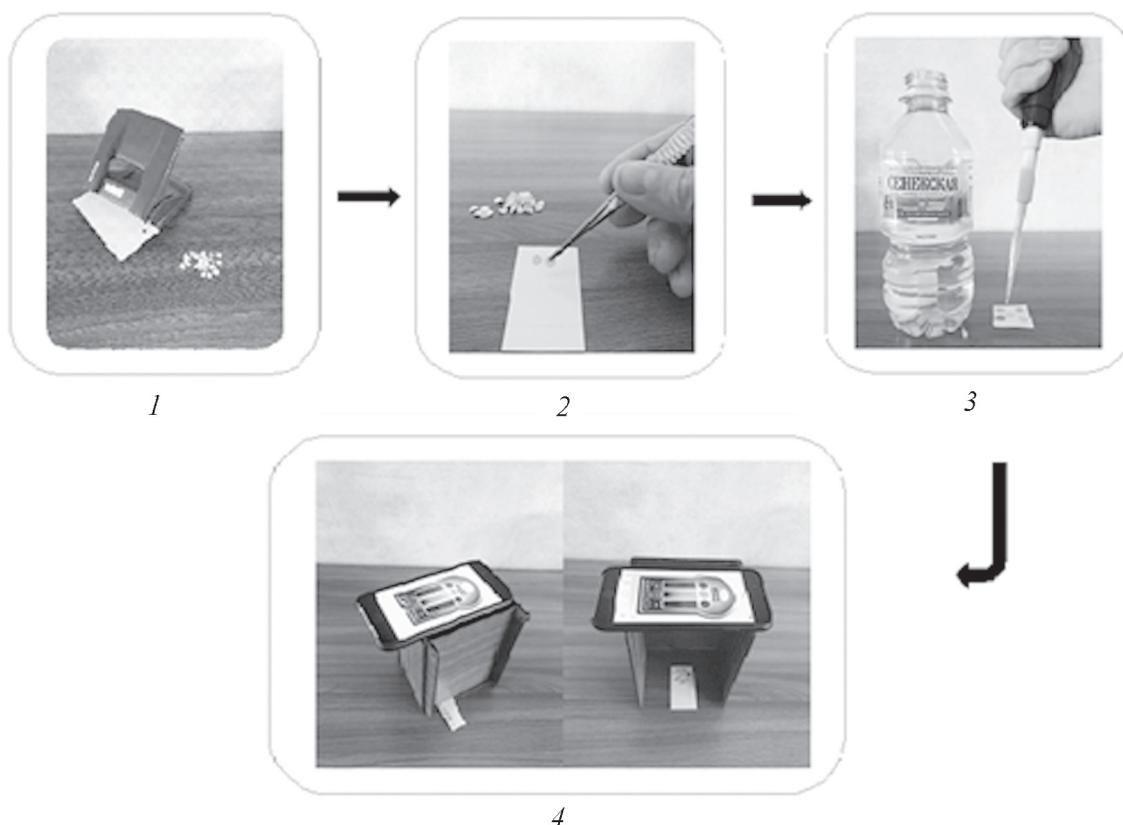


Рис. 3. Схема изготовления тест-устройства и измерения цветометрических характеристик индикаторных зон смартфоном: 1 – изготовление индикаторных зон с помощью дырокола, 2 – приклеивание индикаторов на двухсторонний скотч, 3 – нанесение пробы воды на индикаторные зоны, 4 – измерение цветометрических характеристик с помощью смартфона

Т а б л и ц а 1

Составы для пропитки целлюлозной бумаги

Индикатор	Состав пропиточного раствора
Общая жесткость воды	0,08%-й водный раствор эриохромового черного Т и 0,8%-й водный раствор тетрабората натрия
Общая щелочность воды	0,1%-й водный раствор конго красного и 0,08%-й водный раствор лимонной кислоты
Хлориды	0,05%-й водный раствор сульфата серебра 0,05%-й водный раствор дихромата калия
Сульфаты	0,05%-й водный раствор хлорида бария 0,05%-й водный раствор эриохромового черного Т
pH	0,1 %-й водно-спиртовой раствор фенолового красного
pH1	0,1 %-й водно-спиртовой раствор бромтимолового синего
pH2	0,1 %-й водно-спиртовой раствор нейтрального красного

Т а б л и ц а 2

Состав природных минеральных вод Владимирской области

Бренд	Географическое происхождение	Состав, мг/л*
«Алонка» Негазированная	г. Владимир, скважина № 34569	Ca ²⁺ (15–130) Mg ²⁺ (30–50) K ⁺ (1–20) Na ⁺ (20–200) SO ₄ ²⁻ (10–250) PO ₄ ³⁻ (0,1–3,5)
«Алонка» Газированная	г. Владимир, скважина № 34569	Ca ²⁺ (15–130) Mg ²⁺ (30–50) K ⁺ (1–20) Na ⁺ (20–200) SO ₄ ²⁻ (10–250) PO ₄ ³⁻ (0,1–3,5)
«Суздальские напитки Родниковая» Негазированная	Владимирская область, Суздальский район, дер. Зернево, родник	HCO ₃ ⁻ (150–250) Cl ⁻ (< 30) SO ₄ ²⁻ (<25) Na ⁺ + K ⁺ (5–30) Ca ²⁺ (25–50) Mg ²⁺ (5–20) общая минерализация (0,2–0,4) г/л
«Суздальские напитки Родниковая» Газированная	Владимирская область, Суздальский район, дер. Зернево, родник	HCO ₃ ⁻ (150–250) Cl ⁻ (<30) SO ₄ ²⁻ (<25) Na ⁺ + K ⁺ (5–30) Ca ²⁺ (25–50) Mg ²⁺ (5–20) общая минерализация (0,2–0,4) г/л

Окончание табл. 1

Бренд	Географическое происхождение	Состав, мг/л*
«Лакинская» («Ундольская») Газированная	Владимирская область, Собинский район, г. Лакинск, скважина № 43193	HCO ₃ ⁻ (150–350) Ca ²⁺ (10–110) Mg ²⁺ (20–100) SO ₄ ²⁻ (50–150) общая минерализация (0,2–0,7) г/л
«Лакинская» («Ундольская») Негазированная	Владимирская область, Собинский район, г. Лакинск, скважина № 43193	HCO ₃ ⁻ (150–350) Ca ²⁺ (10–110) Mg ²⁺ (20–100) SO ₄ ²⁻ (50–150) общая минерализация (0,2–0,7) г/л
«Лакинская» («Содовая») Газированная	Владимирская область, Собинский район, г. Лакинск, скважина № 43193	HCO ₃ ⁻ (150–350) Ca ²⁺ (10–110) Mg ²⁺ (<100) SO ₄ ²⁻ (50–150) общая минерализация (0,2–0,7) г/л
«Лакинский родник». Газированная	Владимирская область, Собинский район, г. Лакинск, скважина № 1 (100 м)	HCO ₃ ⁻ (200–300) Ca ²⁺ (50–70) Mg ²⁺ (20–35) SO ₄ ²⁻ (130–190) Cl ⁻ (10–15) Na ⁺ + K ⁺ (50–80) общая минерализация (0,5–0,7) г/л
«Я» Негазированная	Владимирская область, Вязниковский район, дер. Эдон, скважина № 79943	HCO ₃ ⁻ (200–300) Ca ²⁺ (30–70) Mg ²⁺ (10–40) общая минерализация (0,3–0,5) г/л
«Я» Газированная	Владимирская область, Вязниковский район, дер. Эдон, скважина № 79943	HCO ₃ ⁻ (200–300) Ca ²⁺ (30–70) Mg ²⁺ (10–40) общая минерализация (0,3–0,5) г/дм ³
«Судогодская» Негазированная	Владимирская область, Судогодский район, г. Судогда, скважина № 79956 (70 м)	HCO ₃ ⁻ (60–90) Ca ²⁺ (10–30) Mg ²⁺ (5–20) общая минерализация (0,08–0,12) г/дм ³
«Синеборье» Негазированная	Владимирская область, Судогодский район, с.п. Лавровское, дер. Старое Полхово, скважина № 77-Т	HCO ₃ ⁻ (100–400) Ca ²⁺ (20–80) Mg ²⁺ (< 60) общая минерализация (0,1–0,6) г/л
«Родники Ополя» Газированная	Владимирская область, Юрьев-Польский район, с. Лыково, Каптированный родник	HCO ₃ ⁻ (180–250) Ca ²⁺ (< 100) Mg ²⁺ (< 80) общая минерализация (0,25–0,5) г/дм ³ Жесткость общая (1,5–7) мМ

* Состав заявлен на этикетке.

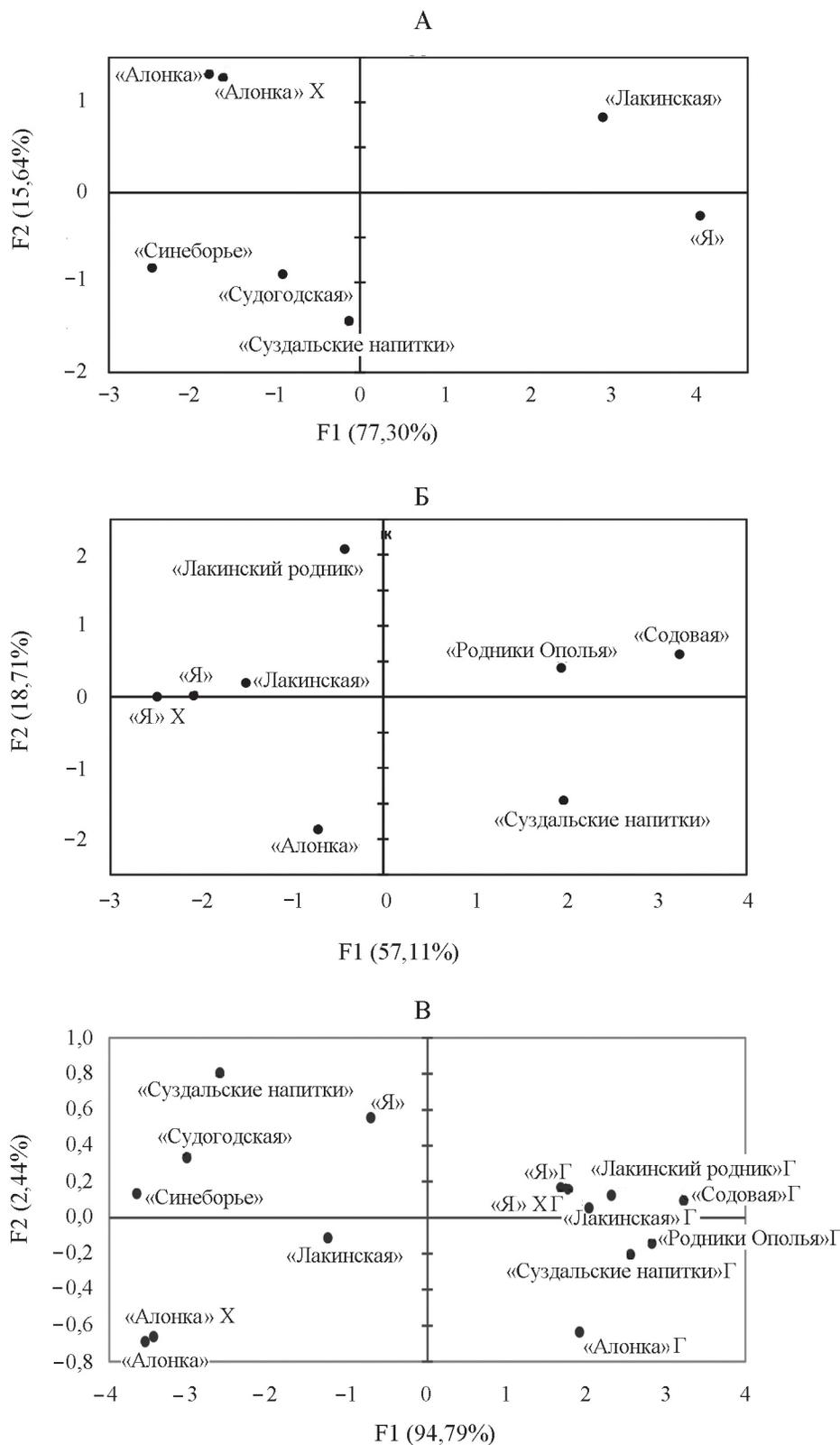


Рис. 4. Проекция канонических функций, отражающие распределение образцов по брендам негазированных (А), газированных (Б), негазированных и газированных (В) природных минеральных вод Владимирской области

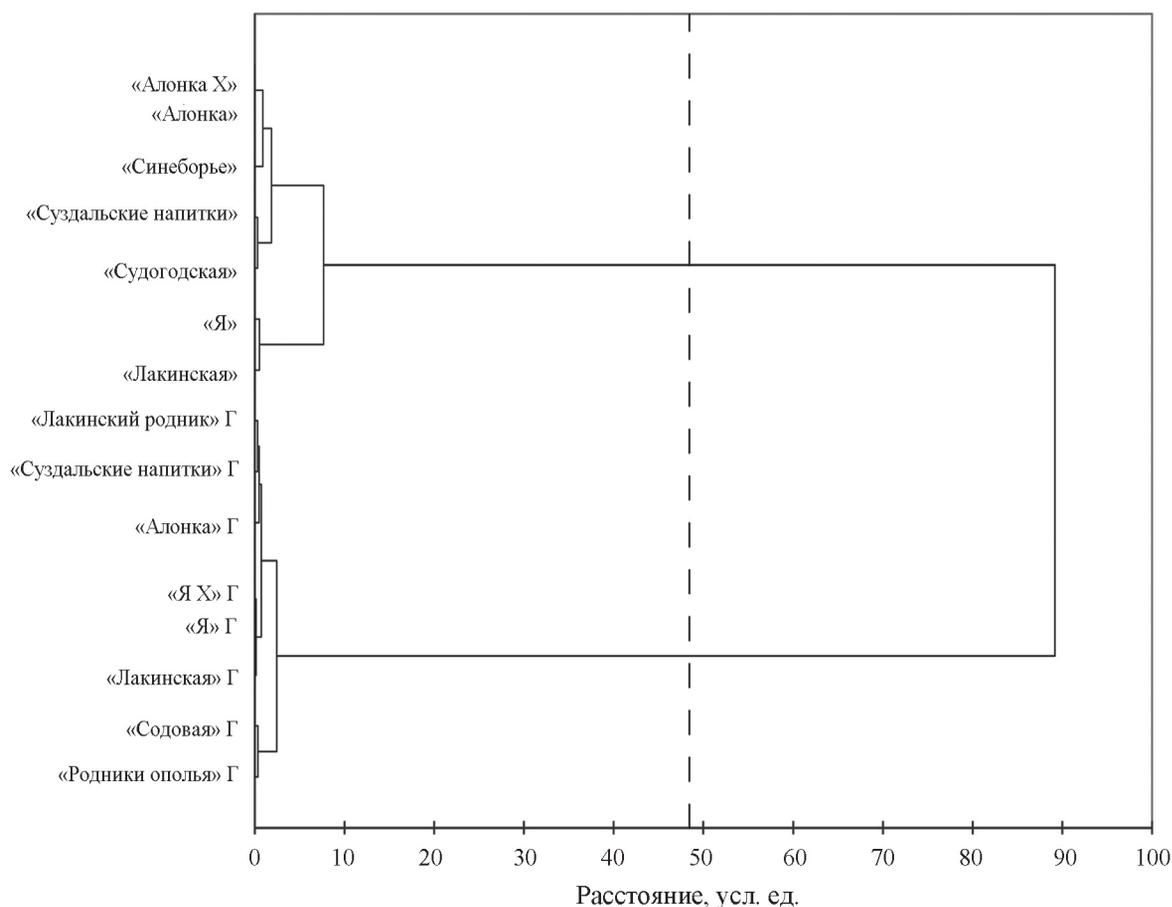


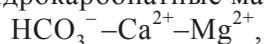
Рис. 5. Дендрограмма для минеральных вод Владимирской области. (Г– газированные, ХГ– газированные для идентификации, Х – негазированные для идентификации)

для дистиллированной и анализируемой воды соответственно. Анализ проводили для трех параллельных проб.

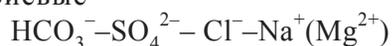
Хемометрический анализ. Для идентификации природных вод применяли метод главных компонент (principal component analysis, PCA) и иерархический кластерный анализ (hierarchical clustering analysis, HCA) с использованием программного обеспечения XLSTAT (v. 2021.3.1).

Результаты и их обсуждение

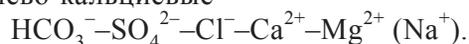
Природные минеральные воды по геохимическому типу классифицируют в основном на гидрокарбонатные магниевые-кальциевые



хлоридно-сульфатные гидрокарбонатные натриевые



и хлоридно-сульфатные гидрокарбонатные магниевые-кальциевые



Источники этих вод находятся как в Европейской части и южных регионах России, так и в

Кавказском регионе. В табл. 2 представлен состав (заявлен на этикетке) природных минеральных вод Владимирской области.

Для идентификации таких вод нами выбраны значения обобщенных показателей, таких как общая жесткость, щелочность и pH воды, а также содержание хлоридов и сульфатов. Было изготовлено тест-устройство на основе целлюлозной бумаги для идентификации воды по семи показателям (рис. 1, табл. 1). Для определения pH вод использовали три индикатора с различными интервалами перехода окраски: pH – феноловый красный (6,8–8,4), pH1 – бромтимоловый синий (6,0–7,6), pH2 – нейтральный красный (6,8–8,0).

Методом цифровой цветометрии проанализированы 13 природных минеральных вод Владимирской области. Полученные цветометрические данные (A_i) были обработаны методом PCA, а затем были построены матрицы счетов и нагрузок. Установлено, что из пяти главных компонент четкое различие негазированных (92,94%), газированных (75,82%), совместно

Идентификация минеральных вод методом k-среднего

Наименование бренда	Расстояние от центроида, усл. ед.	Наименование бренда	Расстояние от центроида, усл. ед.
«Судогодская»	119,584	«Родники ополья» Г	105,411
«Суздальские напитки»	109,648	«Суздальские напитки» Г	99,407
«Синеборье»	138,690	«Содовая» Г	113,702
«Алонка»	146,629	«Лакинские родники» Г	101,042
«Алонка» X	146,091	«Лакинская» Г	82,697
«Лакинская»	49,438	«Я» Г	77,595
«Я»	33,697	«Я» XГ	77,374
«Алонка» Г	76,268	–	–

газированных и негазированных (97,23%) вод получено для первых двух главных компонент (F1, F2) (рис. 4).

Как следует из рис. 4, произошло разделение негазированных и газированных вод на 1 и 4, 2 и 4 квадранты, образующие два кластера.

Использование метода иерархического кластерного анализа позволило идентифицировать газированные и негазированные воды. Как видно из рис. 5, на дендрограмме газированные и негазированные воды образуют отдельные кластеры. Идентифицируемые воды (X) выделены в кластеры с нулевым или небольшим расстоянием (Linkage distance) от аналогичных вод, использованных для обучающей выборки. Идентификацию проводили

также методом k-среднего (k-means) по расстоянию от центроида до воды X. В табл. 3 приведены расстояния от центроида до центральной точки кластера определенной воды. Видно, что эти расстояния для образцов X и образцов, использованных для обучающей выборки, различаются незначительно (в табл. 3 выделено жирным шрифтом), что позволяет провести 100%-ю идентификацию.

Таким образом в представленной работе показан простой, дешевый и быстрый способ идентификации и классификации природных минеральных вод на примере вод Владимирской области. Идентификация проведена цветометрическим методом с использованием смартфона и хемометрического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моногарова О.В., Осолок К.В., Апяри В.В. Цветометрия в химическом анализе // Журн. аналит. химии. 2018. Т. 73. № 11. С. 857.
2. Апяри В.В., Горбунова М.В., Исаченко А.И., Дмитриенко С.Г., Золотов Ю.А. Использование бытовых цветорегистрирующих устройств в количественном химическом анализе // Журн. аналит. химии. 2017. Т. 72. № 11. С. 963.
3. Иванов В.М., Кузнецова О.В. Химическая цветометрия: возможности метода, области применения и перспективы // Успехи химии. 2001. Т. 70. № 5. С. 411.
4. Huang X., Xu D., Chen J., Liu J., Li Y., Song J., Ma X., Guo J. Smartphone-based analytical biosensors // *Analyst*. 2018. Vol. 143. P. 5339.
5. Rezazadeh M., Seidi Sh., Lid M., Pedersen-Bjergaard S., Yamini Y. The modern role of smartphones in analytical chemistry // *Trends Anal. Chem.* 2019. Vol. 118. P. 548.
6. Feng L., Musto Ch.J., Kemling J.W., Lim S.H., Zhong W., Suslick K.S. Colorimetric Sensor Array for Determination and Identification of Toxic Industrial Chemicals // *Anal. Chem.* 2010. Vol. 82. N 22. P. 9433.
7. Feng L., Musto Ch.J., Kemling J.W., Lim S.H., Suslick K.S. A colorimetric sensor array for identification of toxic gases below permissible exposure limits // *Chem. Commun.* 2010. Vol.46. P. 2037.
8. Чапленко А.А., Моногарова О.В., Осолок К.В. Идентификация нестероидных противовоспалительных средств методом цифровой цветометрии с применением способа главных компо-

- нент // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2020 Т. 9. №. 1. С. 55.
9. Bueno L., Meloni G.N., Reddyb S.M., Paixão T.R.L.C. Use of plastic-based analytical device, smartphone and chemometric tools to discriminate amines // RSC Adv. 2015. Vol. 5 P. 20148.
10. Salles M.O., Meloni G.N., de Araujoa W. R., Paixão T.R.L.C. Explosive colorimetric discrimination using a smartphone, paper device and chemometrical approach // Anal. Methods. 2014. Vol. 6. P. 2047.
11. Silva Neto G.F., Braga A.F. Jez W.B. Classification of Mineral Waters Based On Digital Images Acquired by Smartphones // Quim. Nova. 2016. Vol. 39. № 7. P.876.
12. Амелин В.Г., Подколзин И.В., Соловьев А.И., Третьяков А.В. Природные минеральные воды России: идентификация географического происхождения и выявления фактов фальсификации по соотношению концентраций редкоземельных элементов и стабильных изотопов свинца // Вода. Химия и экология. 2012. № 11. С. 79.

Информация об авторах

Шаока Зин Алабдин Чалави – аспирант кафедры химии Института биологии и экологии ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ) (zeanalaabideen4@gmail.com);

Амелин Василий Григорьевич – профессор кафедры химии Института биологии и экологии ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), гл. науч. сотр. отделения фармакологических лекарственных средств, безопасности пищевой продукции и кормов ФГБУ «Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов» (ФГБУ «ВГНКИ»), докт. хим. наук, профессор (amelinvg@mail.ru);

Репкин Роман Владимирович – доцент кафедры экологии Института биологии и экологии Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (repkinerom75@mail.ru)

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 16.11.2021;
одобрена после рецензирования 12.12.2021;
принята к публикации 14.02.2022.