

## Унифицированная шкала природных вод

В.Ф. Николаев<sup>1</sup>, Л.Е. Фосс<sup>2\*</sup>, Б.Ф. Сулайман<sup>1</sup>, А.Б. Агыбай<sup>1</sup>,  
А.Х. Тимиргалиева<sup>1</sup>, Р.Б. Султанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

<sup>2</sup>Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

Предложена континуальная шкала природных вод, основанная на характеристиках вектора, построенного на совмещенных катионном и анионном треугольниках Гиббса. На основе компрессии данных шестикомпонентного ионного состава вод построен стилизованный гидрохимический циферблат. Для обеспечения удобства коммуникации гидрохимиков при обмене информацией о минеральном составе вод предложено характеризовать его направлением вектора, выраженного в единицах (минутах) гидрохимического циферблата. Приведены уравнения для оцифровки природных вод и цветовой визуализации на гидрогеохимических картах их минерального состава посредством моделей Red/Green/Blue и Hue/Saturation/Value. Анализ изменений состава природных вод на картах во времени открывает возможность визуального установления гидродинамических связей между океаническими течениями, водоносными горизонтами, нефтяными пластами, добывающими и нагнетательными скважинами, не прибегая к использованию трассеров. Приведены примеры преобразования шестикомпонентного состава природных вод озер, рек, морей и океанов в показания гидрохимического циферблата и в соответствующие им цветовые тона. Применение метода цветового картирования при анализе процессов в Мировом океане, связанных с таянием арктических льдов и с изменениями состава вод океанических течений, позволит под новым углом зрения взглянуть на глобальные процессы изменения климата.

**Ключевые слова:** природные воды, грунтовые воды, морские воды, океанические течения, пластовые воды, классификация вод, катионный состав, анионный состав, аналитическая химия, физическая химия, минерализация, геохимическая карта, треугольник Гиббса-Розебома, треугольник Максвелла, гидрогеохимия, цветовая модель HSV(HSB), модель RGB, горизонтальная гидрогеохимическая зональность, вертикальная геохимическая зональность, нефтегазовое месторождение, компрессия данных

**Для цитирования:** Николаев В.Ф., Фосс Л.Е., Сулайман Б.Ф., Агыбай А.Б., Тимиргалиева А.Х., Султанова Р.Б. (2018). Унифицированная шкала природных вод. *Георесурсы*, 20(2), с. 58-66. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.2.58-66>

Многообразие состава природных вод по шести основным ионным компонентам существенно осложняет типизацию вод и ограничивает возможность их «окрашивания» при цветовом картографировании. С целью частичного обхода этого препятствия воды, наносимые на карту, разбиваются на цветовые группы посредством кластерного анализа (Narany и др., 2014). Недостатком этих методов, подобно разбиению вод в известных классификациях Пальмера и Сулина (Palmer, 1911; Сулин, 1946; Collins, 1975; Самарина, 1977; Сулин, 1948), является дискретный характер границ типов природных вод, что несовместимо с континуальными шкалами цветовых моделей HSV(HSB) и RGB (Ibraheem и др., 2012; Meskaldji и др., 2009). Известные способы визуализации шестикомпонентного состава природных вод на ионных треугольниках Гиббса и вариации этих методов (Žarogozec, 1972) также непреносимы на цветовые гидрогеохимические карты. До настоящего времени региональные гидрогеохимические карты строятся на основе данных по какому-либо одному параметру, например, по общей минерализации (*Total Dissolved Solids – TDS*), либо по содержанию хлорид-иона, сульфат-иона или кальций-иона (Fraser, 2003). В результате такого картографирования утрачивается

существенная часть информации о шестикомпонентном составе вод. Другой способ представления природных вод на гидрохимических картах заключается в нанесении у географических точек отбора проб круговых диаграмм, площади секторов которых отражают содержание шести основных ионных компонентов в эквивалент-процентах, а общая минерализация вод отражается величиной радиуса диаграммы (Nem, 1985; Dinka и др., 2015). Визуальный анализ таких карт также затруднителен и не дает наглядного представления о миграции минеральных компонентов водных потоков.

Для создания шкалы природных вод и их цветовой визуализации на гидрогеохимических картах использована процедура компрессии данных по шестикомпонентному ионному составу, представленному точками на катионном ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) и анионном ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) треугольниках Гиббса. Как показал анализ экспериментальных данных (Collins, 1975; Самарина, 1977; Warner и др., 2012), площади этих треугольников из-за низкой растворимости ряда солей (напр. сульфат кальция  $\text{CaSO}_4$ , гидрокарбонат магния  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , гидрокарбонат кальция  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) заселены крайне неравномерно. Благодаря низкой заселенности центра ионных треугольников становится возможным использование этой точки при создании шкалы природных вод в качестве центра двух вспомогательных систем координат – декартовой и полярной. Процедура компрессии данных шестикомпонентного состава вод

\* Ответственный автор: Фосс Лев Евгеньевич  
E-mail: [iacw212@gmail.com](mailto:iacw212@gmail.com)

© 2018 Коллектив авторов

заклучалась в выборе оптимального варианта совмещения вершин катионного и анионного треугольников, обеспечивающего хорошее разделение на них областей расположения точек или векторов пресных (реки, озера) и высокоминерализованных (моря, океан, пластовые воды) природных вод. Варианты ориентации анионного треугольника относительно катионного поворотом на угол, кратный  $\pi/3$  (подобие шестиконечной звезды Давида), не рассматривались из-за возможности полной взаимной компенсации катионного и анионного векторов при их суммировании.

Проанализировав составы озерных, речных, морских и океанических вод, приведенные в работе (Самарина, 1977), а также составы пластовых вод нефтяных месторождений (Dresel и др., 2010; Хисамов и др., 2009), было установлено, что предпочтительным сочетанием вершин катионного и анионного треугольников является вариант  $Mg^{2+}/Cl^-$ ,  $Ca^{2+}/HCO_3^-$  и  $(Na^+/K^+)/SO_4^{2-}$ . Для лучшего восприятия гидрохимической шкалы, последняя была представлена в виде привычного циферблата с шестьюдесятью делениями и минутной стрелкой, меняющейся длины. Выбор способа совмещения спаренного ионного треугольника со шкалой циферблата диктовался стремлением обеспечить положение малорастворимой в воде соли  $Mg(HCO_3)_2$  в начале круговой шкалы (при  $\tau_s = 0'$ ), а соли  $CaCl_2$  с максимальной растворимостью – в конце шкалы (при  $\tau_s = 60'$ ). Кроме того было желательным, чтобы и остальные соли природных вод располагались на гидрохимическом циферблате при движении от  $\tau_s = 0$  ед. по часовой стрелке в соответствии с ростом их растворимости в воде. Такому требованию отвечает ориентация, показанная на рис. 1.

Из рис. 1 можно видеть, что практически все соли (за исключением  $Ca(HCO_3)_2$ ) расположены на гидрохимическом циферблате с ростом своей растворимости в воде (Kaltofen и др., 1966; Lide, 2006).

Положение конкретного образца природной воды на шкале гидрохимического циферблата легко может быть определено графически путем нанесения на спаренный

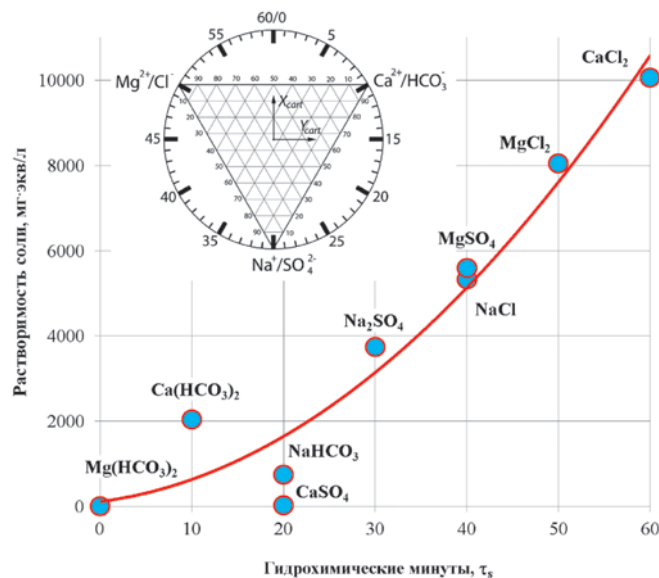


Рис. 1. Взаимосвязь растворимости основных индивидуальных солевых компонентов природных вод с их положением  $\tau_s$  на гидрохимическом циферблате

треугольник (Рис. 1) данных по катионному и анионному составу, построения катионного и анионного векторов, их графического суммирования и определения по круговой шкале величины  $\tau_s$ . Для компьютерной обработки гидрохимической информации ниже детально изложен весь алгоритм. Используя выбранную взаимную ориентацию ионных треугольников и гидрохимического циферблата (Рис. 1) проводится следующая последовательность преобразований координат:

$$(X_{GIBBS}; Y_{GIBBS}) \rightarrow (X_{CART}; Y_{CART}) \rightarrow (\varphi; \rho) \rightarrow (\varphi'; \rho) \rightarrow (\tau; \rho), \quad (1)$$

где  $X_{GIBBS}$  и  $Y_{GIBBS}$  – данные шестикомпонентного анализа конкретного образца природной воды, мг-экв% (Табл. 1),  $X_{CART}$  и  $Y_{CART}$  – координаты точки состава воды во вспомогательной декартовой системе координат (Рис. 1),  $\varphi(-180^\circ < \varphi < +180^\circ)$  и  $\rho$  – полярные координаты радиуса-вектора, исходящего из центра ионного треугольника к точке  $(X_{CART}; Y_{CART})$ ,  $\varphi'(0^\circ < \varphi' < 360^\circ)$  и  $\rho$  – полярные координаты радиуса-вектора со смещенным по часовой стрелке на  $180^\circ$  полярным углом ( $\varphi' = \varphi + 180^\circ$ ),  $\tau$  и  $\rho$  – полярные координаты радиуса-вектора в гидрохимической шкале циферблата ( $\tau = \varphi'/6, 0 \leq \tau \leq 60 \text{ мин}$ ).

Конкретные уравнения (2), (3) для преобразования координат приведены ниже.

$$X_{GIBBS} = \frac{X_{GIBBS}(Ca^{2+}) + X_{GIBBS}(HCO_3^-)}{2}, \quad (2)$$

$$Y_{GIBBS} = \frac{Y_{GIBBS}(Na^+) + Y_{GIBBS}(SO_4^{2-})}{2}. \quad (3)$$

Необходимость в третьей координате  $Z_{GIBBS} = [Z_{GIBBS}(Mg^{2+}) + Z_{GIBBS}(Cl^-)]/2$  отпадает, поскольку по условию нормировки она однозначно определяется двумя используемыми координатами  $Z_{GIBBS} = 100 - X_{GIBBS} - Y_{GIBBS}$ .

Пересчет координат спаренного треугольника Гиббса  $(X_{GIBBS}; Y_{GIBBS})$  в декартовы координаты  $(X_{CART}; Y_{CART})$  проводился по соотношениям (4), (5). Направления осей показаны на рис. 1.

$$X_{cart} = (100 - Y_{GIBBS}) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) - 100 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) + \frac{50}{\text{tg}\left(\frac{\pi}{3}\right)}, \quad (4)$$

$$Y_{cart} = (2 \cdot X_{GIBBS} + Y_{GIBBS} - 100) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3}\right). \quad (5)$$

Расчет направления радиуса-вектора природной воды в единицах шкалы гидрохимического циферблата проводится по уравнению:

$$\tau = 30 \cdot \left( \left( 1 - \text{sign} \left( 30 \cdot \frac{\text{atan2}(X_{cart}, Y_{cart})}{\pi} - 0.00001 \right) \right) + \frac{\text{atan2}(X_{cart}, Y_{cart})}{\pi} \right), \quad (6)$$

а расчет длины нормированного радиуса вектора – по уравнению:

$$\rho = \sqrt{X_{cart}^2 + Y_{cart}^2}. \quad (7)$$

В табл. 1 приведен расчет характеристик минерального состава 21 природной воды. Поскольку после компрессии данных шестикомпонентного состава проведена нормировка по ур. (2) и (3), то  $\rho_s$ , рассчитанное по ур. (7) и приведенное в табл. 1, вдвое меньше величины  $\rho_s$ , показанной на рис. 2. Изложенный алгоритм расчета направления и длины радиуса-вектора природных вод

позволяет систематизировать все природные воды по направлению  $\tau_s$  и длине радиуса-вектора  $\rho_s$ . Используемые нижние индексы S, A и C при  $\tau$ ,  $\rho$  и  $\rho^{max}$  означают, что последние величины относятся к полному минеральному составу воды, к анионному составу и к катионному составу, соответственно. Речные воды по величине  $\tau_s$  расположены преимущественно в диапазоне  $5 \div 18$  ед., а морские и океанические воды в диапазоне  $35 \div 50$  ед. (см.  $\tau_s$  в табл. 2). Полезным дополнением к характеристике состава вод является величина  $\tau_s \rho_s / \rho_s^{max}$ , являющаяся производной от полученных характеристик положения вектора минерального состава воды на гидрохимическом циферблате, где  $\rho_s^{max}$  – расстояние от центра циферблата до ребра ионного треугольника для конкретного направления  $\tau$ , рассчитываемое по уравнению:

$$\rho^{max} = 50 \cdot \frac{tg(\frac{\pi}{6})}{\cos((abs(abs(abs(\tau-30)-20)-10))-\frac{\pi}{30})}. \quad (8)$$

Используя величину  $\tau \rho / \rho^{max}$  получаем дополнительный критерий для характеристики состава вод. Так, по этому критерию озерные и речные воды укладываются в интервал  $\tau_s \rho_s / \rho_s^{max} = 1 \div 10$ , а морские, океанические и пластовые воды нефтегазовых месторождений – в интервал  $\tau_s \rho_s / \rho_s^{max} = 25 \div 40$ .

**Оцифровка компрессионных данных по составу природных вод для гидрогеохимического картографирования с использованием моделей HSV(HSB) и RGB**

**Цветовая модель HSV(HSB)**

Для цветовой визуализации на гидрогеохимических картах изменения минерального состава природных вод нами использована процедура компрессии данных по шестикомпонентному составу, описанная выше, и цветовая модель HSV(Hue/Saturation/Value(Brightness)), в которой первая позиция (Hue) меняется в интервале  $0 \div 360^\circ$ , а вторая (Saturation) и третья (Value/Brightness) позиции – в интервале  $0 \div 100\%$ . Определенные нами ранее характеристики положения вектора  $\bar{\rho}_s$  на гидрохимическом циферблате и позиция Hue описывают круговую цветовую шкалу от красного через желтый, зеленый, синий до фиолетового цвета. Естественным представляется, что позиция Hue должна быть связана с направлением  $\tau_s$  суммарного вектора природной воды  $\bar{\rho}_s = \bar{\rho}_C + \bar{\rho}_A$  на гидрохимическом циферблате (Рис. 2). В простейшем случае, если воды, наносимые на карту, охватывают практически всю шкалу гидрохимического циферблата  $\tau_s = 0 \div 60^\circ$ , то величина Hue может рассчитываться как  $Hue = 6 \cdot \tau_s$ . Цветовой круг, опоясывающий гидрохимический циферблат, согласно цветовой модели HSV, имеет в точке  $Hue = 0/360^\circ$  ( $\tau_s = 0/60^\circ$ ) максимум в красной области спектра (палитры). С целью более четкого цветового разделения на гидрохимических картах низко минерализованных озерных и речных вод, лежащих за исключением реки Нил и Хуанхэ в интервале  $\tau_s = 5 \div 18^\circ$ , и высоко минерализованных морских, океанических и пластовых (подземных) вод желателен поворот цветового круга по ходу минутной стрелки на  $10^\circ$  относительно циферблата. Такая процедура позволяет все низко минерализованные и пресные воды озер и рек окрасить в цвета

теплой части спектра от красного до желтого, а высоко минерализованные морские, океанические и пластовые воды, расположенные в секторе  $\tau_s = 35 \div 50^\circ$ , окрасить в холодные цвета от синего до фиолетового. Аналитически такой поворот цветового круга относительно циферблата на  $10^\circ$  выражается уравнением:

$$Hue = 6 \cdot (\tau - 10 + 60 \cdot \text{ОТБР}(\frac{60-\tau}{50})), \quad (9)$$

где ОТБР – функция Microsoft Office Excel. При формировании столбца цветов в табл. 2 использовано ур. (9).

Как будет показано ниже, такое десятиминутное смещение цветового круга относительно циферблата обеспечивает сходство окраски вод в модели HSV(HSB) с таковой при использовании модели RGB (треугольник Максвелла).

В случае если воды, наносимые на гидрогеохимическую карту, имеют узкий интервал вариации  $\tau_s$ , цветовая шкала может быть подобрана (Рис. 3) посредством какого-либо линейного преобразования:

$$Hue = \frac{A \cdot (\tau_s - \tau_s^{min})}{(\tau_s^{max} - \tau_s^{min})} + B, \quad (10)$$

где A, B – постоянные, выбираемые из интервала  $(A+B) \leq 360$ ,  $\tau_s$  – направление вектора образца воды на гидрохимическом циферблате,  $\tau_s^{min}$ ,  $\tau_s^{max}$  – минимальное и максимальное значение направлений векторов вод. Позиция Saturation с целью обеспечения чистоты и насыщенности цветов при формировании столбца цветов табл. 2 приравнивалась максимальному значению  $S = 100\%$ , хотя возможны и иные варианты. Другой причиной отказа от использования всех трех позиций модели HSV(HSB) является то, что на плоскости карты сложно представить 3-х мерную расшифровку используемых цветовых обозначений.

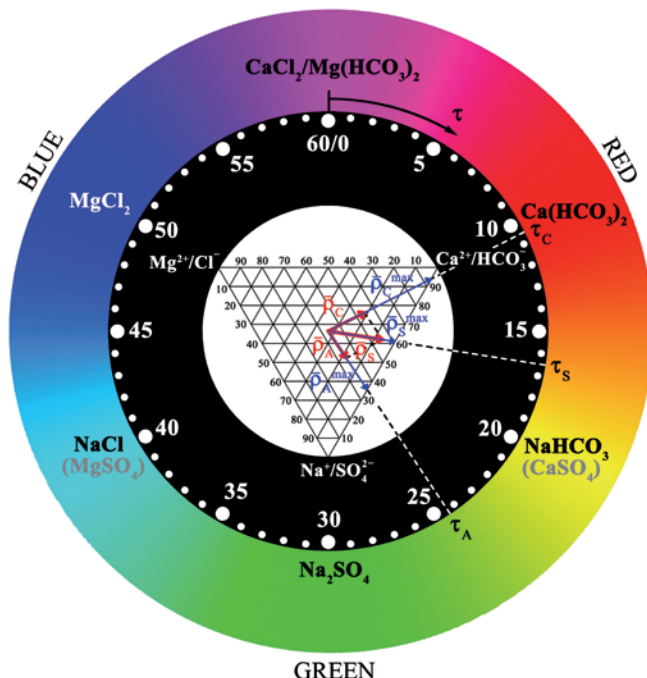


Рис. 2. Гидрохимический циферблат (модель HSV, Hue = 6 · (τ<sub>s</sub> – 10)) со спаренными треугольниками катионного и анионного состава и графическим примером определения характеристик гидрохимического вектора для воды р. Темзы (Англия) (Табл. 1).



№*	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	M	lnM	τ	ρ	ρ <sub>C</sub> <sup>max</sup>	ρ <sub>C</sub> <sup>max</sup> ρ <sub>C</sub>
	МГ·ЭКВ%			МГ·ЭКВ%			МГ·ЭКВ/Л					
1	44,07	14,97	40,95	52,53	27,62	19,85	14,3	2,661	0,9	16,0	29,0	0,551
2	26,68	29,35	43,98	75,77	10,29	13,94	8,2	2,103	10,2	23,2	56,0	0,414
3	54,66	21,92	23,43	67,10	16,16	16,73	2,7	1,006	9,6	18,5	54,0	0,343
4	91,04	6,64	2,33	86,81	4,37	8,82	12,0	2,487	10,4	50,0	53,8	0,930
5	75,73	13,33	10,94	64,78	18,19	17,03	13,3	2,587	10,3	36,7	54,7	0,672
6	64,05	15,95	20,00	89,58	9,40	1,02	2,5	0,905	9,3	26,7	51,2	0,521
7	73,49	14,33	12,18	71,19	18,11	10,69	10,1	2,311	10,3	34,8	54,8	0,635
8	34,53	46,49	18,98	67,97	15,35	16,68	2,6	0,956	24,3	13,8	32,0	0,431
9	44,94	30,27	24,79	50,91	40,63	8,46	12,4	2,518	12,5	10,4	40,6	0,256
10	54,30	24,11	21,59	34,23	46,79	18,98	16,0	2,770	10,7	18,2	51,6	0,352
11	3,80	88,68	7,51	59,39	0,33	40,28	321,7	5,773	30,4	48,0	54,1	0,886
12	3,93	44,41	51,66	4,12	91,77	4,11	942,9	6,849	41,4	25,7	29,2	0,882
13	8,69	62,88	28,43	0,64	29,36	70,00	431,5	6,067	33,5	27,4	37,1	0,739
14	3,43	79,62	16,95	0,28	10,59	89,14	1386,6	7,235	31,6	40,7	45,3	0,897
15	3,32	79,11	17,57	1,05	9,11	89,85	1401,1	7,245	31,7	40,3	44,7	0,900
16	4,04	78,34	17,62	1,04	9,28	89,68	600,9	6,398	31,6	39,6	45,0	0,879
17	3,35	78,73	17,92	0,38	9,28	90,34	1250,5	7,131	31,8	40,0	44,4	0,900
18	29,55	41,81	28,64	31,74	25,68	42,57	97,8	4,583	29,4	7,4	52,2	0,141
19	25,15	69,05	5,80	0,03	0,00	99,96	7014,2	8,856	27,1	32,4	39,2	0,826
20	13,07	32,41	54,53	0,17	0,06	99,76	12761,6	9,454	45,4	20,7	34,1	0,608
21	41,52	34,27	24,22	26,98	21,23	51,79	17,6	2,869	15,9	8,7	31,8	0,273

Табл. 1. Состав природных вод и характеристики положения катионных векторов на гидрохимическом циферблате.

\*Числовые обозначения соответствуют следующим образцам вод: 1) Вода скважины Юго-западного района канадской провинции Онтарио (Freckleton, 2013); 2) р. Волга, Россия (Fraser, 2003); 3) Путевая вода (типичные ионы) (Bortman и др., 2003); 4) р. Ламборн, Англия (Allen и др., 2010); 5) р. Сена, Франция (Fraser, 2003); 6) озеро Байкал, Россия (Fraser, 2003); 7) р. Эльба, Чехия (Ritter и др., 2011); 8) р. Северн, Англия (Shand и др., 2005); 9) р. Миссури, США (Criss и др., 2001); 10) р. Темза, Англия (Bearcock и др., 2010); 11) Мин. вода Эссентуки 17, Россия (Самарина, 1977); 12) Мин. вода Хуняди Янош, Венгрия (Halaj, 2013); 13) Каспийское море (Fraser, 2003); 14) Красное море (Manheim и др., 2007); 15) Средиземное море (Demirel и др., 2006); 16) Черное море (Schig, 2003); 17) океаническая вода (типичные ионы) (Bortman и др., 2003); 18) р. Нил, Египет (Hossain, 2010); 19) Пластовые воды Пенсильвании, США (Dresel и др., 2010); 20) Мертвое море (Лопатина, 2016); 21) р. Хуанхэ, Китай (Jing и др., 2014).

Позицию Value/Brightness модели HSV(HSB) логично связать с расстоянием точки воды до центра спаренного треугольника ρ. Однако использование этой величины требует ее предварительной нормировки относительно максимальной длины радиуса-вектора ρ<sub>S</sub><sup>max</sup> для данного τ<sub>S</sub>, т.е. величины ρ<sub>S</sub>/ρ<sub>S</sub><sup>max</sup>, что было использовано в расчете по ур. (11). Во втором варианте (12) расчета величины Value нами использована общая минерализация M<sub>S</sub> (мг·экв/л или г/л). Для обеспечения чистоты цвета (Табл. 2) и его распознаваемости при высоких яркостях нами использовался лишь узкий диапазон Value = 50 ÷ 80. Ниже приведены три варианта уравнений (11)-(13) для расчета величины Value:

$$Value(Brightness) = 80 - 30 \cdot \frac{\rho}{\rho_{max}} \quad (11)$$

$$Value(Brightness) = 80 - 30 \cdot \frac{(M_{Si} - M_S^{min})}{(M_S^{max} - M_S^{min})} \quad (12)$$

В случае необходимости нанесения на гидрохимическую карту вод, значительно различающихся по общей минерализации, вместо ур. (12) можно использовать величину логарифма общей минерализации lnM<sub>S</sub>:

$$Value(Brightness) = 80 - 30 \cdot \frac{(lnM_{Si} - lnM_S^{min})}{(lnM_S^{max} - lnM_S^{min})} \quad (13)$$

В табл. 2 приведены примеры преобразования состава природных вод в цвет (Hue по ур. (9), Saturation = 100%, Value по ур. (13)).

Подход, использованный нами для представления минерального состава вод с использованием величин τ<sub>S</sub> и ρ<sub>S</sub> в модели HSV, полностью переносим на построение гидрогеохимических карт только катионной или только анионной составляющих вод, если заменить τ<sub>S</sub> на τ<sub>C</sub> или τ<sub>A</sub>, а ρ<sub>S</sub>/ρ<sub>S</sub><sup>max</sup> – на ρ<sub>C</sub>/ρ<sub>C</sub><sup>max</sup> или ρ<sub>A</sub>/ρ<sub>A</sub><sup>max</sup>, соответственно. Для расчета τ<sub>C</sub>, ρ<sub>C</sub>, ρ<sub>C</sub><sup>max</sup>, τ<sub>A</sub>, ρ<sub>A</sub>, ρ<sub>A</sub><sup>max</sup> справедливы те же соотношения (4)-(9), только в качестве X<sub>GIBBS</sub> и Y<sub>GIBBS</sub> в ур.(4) и (5) для катионов используют X<sub>GIBBS</sub>(Ca<sup>2+</sup>) и Y<sub>GIBBS</sub>(Na<sup>+</sup>), а для анионов – X<sub>GIBBS</sub>(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) и Y<sub>GIBBS</sub>(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), соответственно.

### Цветовая модель RGB. Совмещенный треугольник Гиббса-Максвелла

Вторая модель, которая используется для цветовой визуализации различных геологических и гидрогеохимических характеристик территорий при картографировании, является модель RGB (Red/Green/Blue). Позиции R, G и B меняются в интервале от 0 до 255 (Ibraheem и др., 2012). Благодаря проведенной ранее компрессии данных шестикомпонентного анализа вод по ур. (2)-(3) появляется возможность прямого перевода координат спаренного катион-анионного треугольника состава Гиббса в цветовой треугольник Максвелла (14):

$$\begin{aligned} (X_{GIBBS}, Y_{GIBBS}) &\rightarrow (x; y) \rightarrow (x; y; 1 - x - y) \rightarrow \\ &\rightarrow (r; g; b) \xrightarrow{Maxwell} RGB. \end{aligned} \quad (14)$$

№*	$\tau_A$	$\rho_A$	$\rho_A^{\max}$	$\frac{\rho_A}{\rho_A^{\min}}$	$\tau_S$	$\tau_{S-10}$	Hue	$\rho_S$	$\rho_S^{\max}$	Value	$\frac{\rho_S}{\rho_S^{\max}}$	$\tau_S \cdot \frac{\rho_S}{\rho_S^{\max}}$	Цвет HSV
1	12,19	17,08	42,22	0,404	6,77	56,8	341	13,7	38,0	74	0,361	2,45	
2	14,53	20,70	34,36	0,602	7,26	57,3	344	21,4	42,1	76	0,508	6,21	
3	9,91	29,25	56,78	0,515	9,79	59,8	359	23,9	55,6	80	0,429	4,20	
4	9,54	46,37	53,37	0,869	9,99	60,0	360	48,1	57,7	74	0,835	8,34	
5	10,20	27,24	55,70	0,489	10,26	0,3	2	32,0	55,1	74	0,580	5,96	
6	10,82	48,89	50,43	0,969	10,27	0,3	2	37,7	55,0	80	0,685	7,03	
7	11,08	33,00	48,58	0,679	10,68	0,7	4	33,9	51,6	75	0,657	7,01	
8	9,79	30,00	55,61	0,539	13,81	3,8	23	16,8	36,2	80	0,465	6,42	
9	17,76	22,15	29,68	0,746	16,11	6,1	37	15,8	31,4	74	0,501	8,08	
10	24,47	13,93	32,34	0,431	16,45	6,5	39	12,1	31,0	73	0,391	6,44	
11	3,08	30,14	30,44	0,990	26,38	16,4	98	10,4	36,8	63	0,283	7,47	
12	30,00	50,61	57,72	0,877	33,60	23,6	142	32,4	36,8	59	0,879	29,54	
13	45,94	34,85	35,53	0,981	40,59	30,6	184	24,9	28,9	62	0,860	34,91	
14	48,99	48,60	49,01	0,992	41,38	31,4	188	27,6	29,2	58	0,944	39,08	
15	49,22	49,11	50,70	0,969	41,68	31,7	190	27,4	29,3	58	0,935	38,95	
16	49,20	48,98	50,55	0,969	41,74	31,7	190	27,1	29,4	61	0,924	38,56	
17	49,14	49,57	50,14	0,989	41,75	31,8	191	27,7	29,4	58	0,944	39,42	
18	53,46	8,56	37,28	0,229	43,63	33,6	202	2,5	31,1	67	0,081	3,52	
19	50,00	57,70	57,71	1,000	44,51	34,5	207	20,2	32,4	52	0,622	27,70	
20	50,01	57,53	57,64	0,998	48,80	38,8	233	38,2	47,7	50	0,801	39,11	
21	51,70	16,24	44,73	0,363	56,46	46,5	279	5,2	31,0	73	0,168	9,46	

Табл. 2. Характеристики положения анионных и солевых векторов на гидрохимическом циферблате.

\*Обозначения образцов вод см. табл. 1.

Для цветовой визуализации на гидрогеохимических картах минерального состава природных вод координаты вод на спаренном треугольнике Гиббса приравняются к координатам треугольника Максвелла (уравнения (15)-(17)):

$$x(\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-) = \frac{x(\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-)}{100} = r = \frac{R}{R+G+B} \quad (15)$$

$$y(\text{Na}^+/\text{SO}_4^{2-}) = \frac{y(\text{Na}^+/\text{SO}_4^{2-})}{100} = g = \frac{G}{R+G+B}, \quad (16)$$

$$z(\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-) = \frac{z(\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-)}{100} = b = \frac{B}{R+G+B}, \quad (17)$$

где  $r$ ,  $g$  и  $b$  – цветовые координаты на треугольнике Максвелла в модели RGB.

Примеры преобразования координат Гиббса для 21 природной воды в цветовой RGB-треугольник Максвелла приведены в табл. 3. Воды распределены в табл. 3 по мере роста  $\tau_S$ . Можно видеть, что цветовые тона речных и озерных вод характеризуются на объединенном треугольнике Гиббса-Максвелла либо теплым цветом, либо малой интенсивностью окраски (р. Нил, Египет и р. Хуанхэ, Китай).

Приведенные алгоритмы перевода данных шестикомпонентного состава вод в цвет посредством моделей HSV и RGB полностью переносимы к цветовой визуализации на гидрогеохимических картах изменений отдельно их катионной или анионной составляющих.

#### Упрощенный пример цветовой картирования изменений минерального состава пластовых вод нефтегазового месторождения в программе Surfer (Ozler, 2003)

На рис. 3 на основе данных по шестикомпонентному составу и общей минерализации пластовых вод нефтегазового месторождения Западной Пенсильвании (Dresel и

др., 2010) показан схематичный пример гидрогеохимической карты. Для ее построения использованы данные по скважинам с практически перекрывающимся интервалом перфораций.

Из карты можно видеть, что в области, окрашенной в синий цвет, пластовые воды на фоне основного минерального компонента NaCl имеют в своем составе повышенное содержание хлористого кальция CaCl<sub>2</sub> в противоположность другим областям карты, окрашенным в красный, желтый и зеленый цвета. Водному раствору чистого хлористого натрия соответствует  $\tau_S(\text{NaCl})=40'$ , а водному раствору чистого хлористого кальция –  $\tau_S(\text{CaCl}_2)=60'$ . Здесь следует заметить, что по гидрохимической шкале  $\tau_S$  между NaCl и CaCl<sub>2</sub> находится MgCl<sub>2</sub> –  $\tau_S(\text{MgCl}_2)=50'$ , однако в данном случае, смещение пластовых вод месторождения Западной Пенсильвании связано с увеличением содержания CaCl<sub>2</sub>, у которого  $\tau_S(\text{CaCl}_2)=60'$ .

Предложенный метод анализа гидрохимической информации применительно к пластовым водам нефтепромыслов позволит в ряде случаев отказаться от трассерных методов установления гидродинамических связей между пластами, добывающими и нагнетательными скважинами, поскольку в качестве своеобразных трассеров могут выступать естественные компоненты пластовых и закачиваемых вод. Цветовое сходство вод на гидрогеохимической карте будет означать и сходство их минерального состава, что, в свою очередь, будет указывать на наличие гидродинамической связи между водными потоками, горизонтами (пластами) или скважинами. Данный метод может быть использован в визуальном анализе данных как по горизонтальному (площадному), так и по вертикальному (глубинному) гидрогеохимическому зонированию океанических и морских вод, промысловых вод нефтегазовых месторождений. Цветовая визуализация

№*	Суммарные координаты вод на треугольнике Гиббса			Координаты треугольника Максвелла			Цвет
	$x(\text{Ca}^{2+}/\text{HCO}_3^-)$	$y(\text{Na}^+/\text{SO}_4^{2-})$	$z(\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-)$	R	G	B	
1	0,483	0,213	0,304	255	112	160	
2	0,512	0,198	0,290	255	99	144	
3	0,609	0,190	0,201	255	80	84	
4	0,889	0,055	0,056	255	16	16	
5	0,703	0,158	0,140	255	57	51	
6	0,768	0,127	0,105	255	42	35	
7	0,723	0,162	0,114	255	57	40	
8	0,513	0,309	0,178	255	154	89	
9	0,479	0,355	0,166	255	189	88	
10	0,443	0,355	0,203	255	204	117	
11	0,316	0,445	0,239	181	255	137	
12	0,040	0,681	0,279	15	255	104	
13	0,047	0,461	0,492	24	239	255	
14	0,019	0,451	0,530	9	217	255	
15	0,022	0,441	0,537	10	209	255	
16	0,025	0,438	0,537	12	208	255	
17	0,019	0,440	0,541	9	207	255	
18	0,306	0,337	0,356	219	242	255	
19	0,126	0,345	0,529	61	166	255	
20	0,066	0,162	0,771	22	54	255	
21	0,342	0,277	0,380	230	186	255	

Табл. 3. Координаты природных вод на треугольниках минерального состава Гиббса и на цветовых треугольниках Максвелла (RGB).  
\*Обозначения образцов вод см. табл. 1.

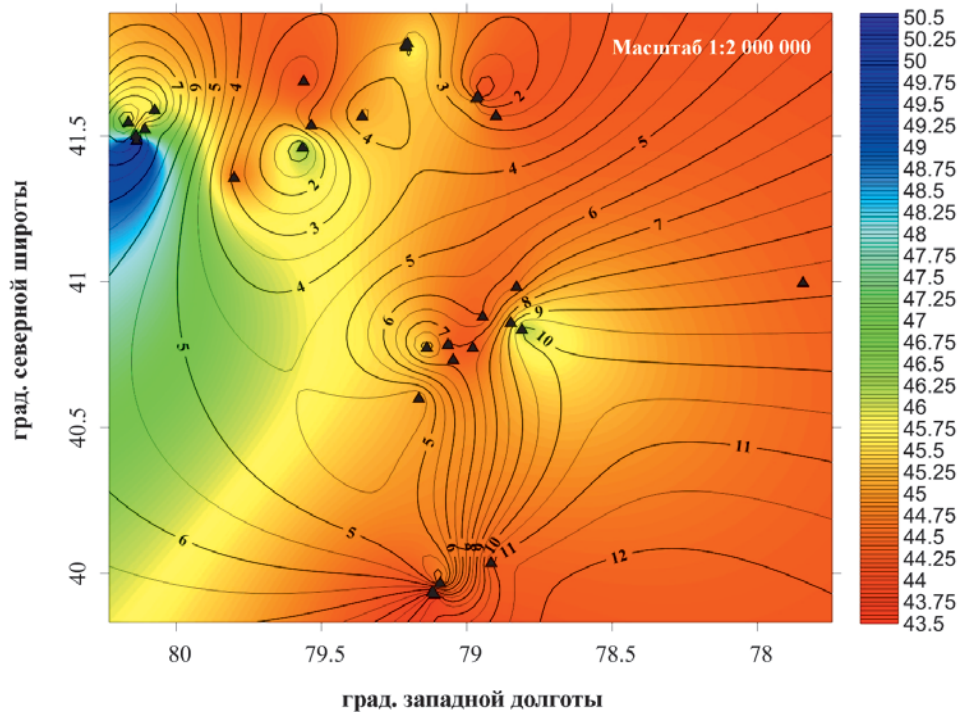


Рис. 3. Схематическая гидрогеохимическая карта изменения минерального состава пластовых вод нефтегазовой провинции Западная Пенсильвания, построенная в программе Surfer с использованием непосредственно величин  $\tau_s$  (цвет) и логарифмов общей минерализации  $\ln M$  ( $M$ , мг-экв/л) (изолинии)

изменений минерального состава пластовых вод может быть проведена и в отсутствие данных по шестикомпонентному анализу. Достаточно определить лишь две ее характеристики – показатель преломления  $n_D^{20}$  и плотность  $d^{20}$  (г/см<sup>3</sup>), и воспользоваться алгоритмом, описанным в статьях (Nikolaev и др., 2016). Для выбора цвета (тона)

следует использовать идентификационный полярный угол  $\varphi_{\text{IPI}}$ , а в качестве меры общей минерализации – полярный радиус  $\rho$  (Николаев и др., 2018).

Изложенный метод сжатия и оцифровки аналитической информации может быть использован в цветовой визуализации различных процессов массопереноса,



сгруппировав отдельные компоненты многокомпонентной системы по какому-либо объединяющему свойству и представив реальную многокомпонентную систему меняющегося в пространстве и времени состава в виде псевдотернарной системы, как это используется при анализе светлых нефтепродуктов и моторных топлив (Nikolaev, 2015; Николаев, 2012). Изменение состава нефтей на цветовых нефтегеохимических картах месторождений может быть визуализировано посредством компрессии данных 4-х компонентного состава нефти, определяемого SARA-анализом (ASTMD4124-09), до 3-х компонентного состава путем выделения группы насыщенных углеводородов, группы ароматических углеводородов и объединенной группы смол и асфальтенов.

## Заключение

Предложена континуальная круговая гидрохимическая шкала (циферблат) природных вод  $\tau_s$ , основанная на компрессии данных по их шестикомпонентному ионному составу. Принятие Международной ассоциацией гидрогеологов ИАН (International Association of Hydrogeologists (Hydrology) конвенционного соглашения о единообразном способе компрессии данных по шестикомпонентному составу природных вод, способе отображения последнего на гидрохимическом циферблате будет способствовать обеспечению удобства коммуникации гидрологов и гидрохимиков при обмене информацией.

Гидрохимический циферблат как показывающая часть прибора (при разработке в перспективе экспресс-метода определения шестикомпонентного состава природных вод) может размещаться на навигационной приборной панели морских и речных судов.

Результаты оцифровки минерального состава вод, благодаря непрерывности (континуальности) гидрохимической шкалы, хорошо совместимы с цветовыми моделями HSV и RGB, широко используемыми при геохимическом картографировании. В случае использования модели RGB показана эффективность объединения треугольника ионного состава Гиббса и цветового треугольника Максвелла в единый треугольник Гиббса-Максвелла.

Внедрение метода цветовой визуализации минерального состава вод позволит оптимизировать разработку нефтегазовых месторождений, провести ретроспективный анализ больших массивов гидрогеохимической и нефтегеохимической информации, накопленной в лабораториях нефтяных компаний за все предыдущие годы разработки и эксплуатации месторождений на предмет изменения гидродинамических связей между нефтяными пластами, водными горизонтами, добывающими и нагнетательными скважинами. Для лучшей визуализации гидродинамических связей между нагнетательными и добывающими скважинами вместо закачивания трассеров могут быть использованы воды, отличающиеся от естественных пластовых вод по минеральному составу или по общей минерализации при условии выполнения требований по их взаимной совместимости.

## Литература

Лопатина А.Б. (2016). Химический состав Мертвого моря (Израиль). Научный вестник. *Химические науки*, 7(1), с. 215-221.

Николаев В.Ф. (2012). Экспресс-методы тестирования композиционных продуктов нефтепромысловых химии и моторных топлив. Казань: КНИТУ, 124 с.

Николаев В.Ф., Булыгин Д.В. (2018). Экспресс-метод оценки минерального состава закачиваемых и попутных вод нефтяных месторождений. *Нефть. Газ. Новации*, 4, с. 56-60.

Самарина В.С. (1977). Гидрогеохимия. Ленинград: ЛГУ, 360 с.

Сулин В.А. (1946). Воды нефтяных месторождений в системе природных вод. Москва; Ленинград: Гостоптехиздат, 95 с.

Сулин В.А. (1948). Условия образования, основы классификации и состав природных вод. Ч.1. Москва: АН СССР, 105 с.

Хисамов Р.С., Габдуллин Т.Г., Фархуллин Р.Г. (2009). Контроль за разработкой нефтяных и газонефтяных месторождений. Казань: Идель-Пресс, 408 с.

Allen D.J., Darling W.G., Goody D.C., Lapworth D.J., Newell A.J., Williams A.T., Allen D., Abesser C. (2010). Interaction between groundwater, the hyporheic zone and a Chalk stream: a case study from the River Lambourn. *UK. Hydrogeology*, 18, pp.1125-1141.

Bortman M., Brimblecombe P., Cunningham M.A., Cunningham W.P., Freedman W. (2003). *Environmental Encyclopedia*. Gale, Farmington Hills.

Bearcock J.M., Smedley P.L. (2010). Baseline groundwater chemistry: the Palaeogene of the Thames Basin. *British Geological Survey Open Report, OR/10/057*. <http://nora.nerc.ac.uk/12600/1/OR10057.pdf>

Collins A.G. (1975). *Developments in Petroleum Science. Vol. I. Geochemistry of Oilfield Waters*, Elsevier Science, New York, 496 p.

Criss R.E., Davidson M.L., Kopp J.W. (2001). Nonpoint sources in the lower Missouri River. *Am. Water Works Assoc.*, 93, pp. 112-122.

Dinka M.O., Loiskandl W., Ndambuki J.M. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, pp. 444-456.

Dresel P.E., Rose A.W. (2010). Chemistry and Origin of Oil and Gas Well Brines in western Pennsylvania, Open-File Oil and Gas Report 10-01.0. Pennsylvania geological survey. [http://www.fwspubs.org/doi/suppl/10.3996/052013-JFWM-033/suppl\\_file/patnodereference+s3.pdf](http://www.fwspubs.org/doi/suppl/10.3996/052013-JFWM-033/suppl_file/patnodereference+s3.pdf)

Demirel Z., Güler C. (2006). Hydrogeochemical evolution of groundwater in a Mediterranean coastal aquifer, Mersin-Erdemli basin (Turkey). *Environ Geol.*, 49, pp. 477-487.

Fraser A.S., Ongley E.D., Meybeck M, Hodgson K. (2003). The Annotated Digital Atlas of Global Water Quality, Global environment monitoring system freshwater quality programme, National Water Research Institute. <http://colinmayfield.com/biology447/modules/module1/gems/intro.html>

Freckleton C.N. (2012). A Physical and Geochemical Characterization of Southwestern Ontario's Breathing Well Region. The University of Western Ontario. <https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=2407&context=etd>

Hem J.D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U.S. Geological Survey Water, United States government printing office, Wasington, 263 p.

Halaj E., Wachowicz-pyzik A. (2013). Examples of applications of geothermal waters for refraction, heating and bottling in selected regions of Hungary. *Geol, Geoph & Environ*, 39, pp. 21-32.

Hossam H.E. (2010). Potentialities of Water Resources Pollution of the Nile River Delta, Egypt. *The Open Hydrology J.*, 4, pp. 1-13.

Ibraheem N.A., Hasan M.M., Khan R.Z. (2012). Understanding Color Models: A Review. *Journal of Sci. and Tech.*, 2, pp. 265-275.

Jing L., Fadong L., Qiang L., Shuai S., Yan Zh., Guangshuai Z. (2014). Impacts of Yellow River Irrigation Practices on Trace Metals in Surface Water: A Case Study of the Henan-Liaocheng Irrigation Area, China. *Human and Ecolog Risk Assessment: An Inter J.*, 20, pp. 1042-1057.

Kaltofen R., Opitz R., Schumann K., Ziemann J. (1966). *Tabellenbuch Chemie*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 485 p.

Lide D.R. (2006). Concentrative Properties of Aqueous Solutions: Density, Refractive Index, Freezing Point Depression, and Viscosity, in *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Taylor and Francis. <http://www.hbcpnetbase.com>

Meskalджи Kh., Boucherkha S., Chikhi S. (2009). Color Quantization and its Impact on Color Histogram Based Image Retrieval. CEUR-WS Publisher. <http://ceur-ws.org/Vol-547/60.pdf>

Manheim F.T., Waterman L.S., Woo C.C., Sayles F.L. (2007). Deep Sea Drilling Project DSDP Volume XXIII. Interstitial Water Studies on Small Core Samples, Leg 23 (Red Sea). [http://www.deepeatdrilling.org/23/volume/dsdp23\\_35.pdf](http://www.deepeatdrilling.org/23/volume/dsdp23_35.pdf)

Narany T.S., Ramli M.R., Aris A.Z., Sulaiman W.A., Juahir H., Fakharian K. (2014). Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Sci World J.*, 2014, pp. 1-15.

Nikolaev V.F., Timirgalieva A.Kh., Barskaya E.E., Egorov A.V., Khanova D.R., Sultanova R.B., Romanov G.V. (2016). Hydrogeochemistry: natural waters in full view. *Bulletin of Kazan Technological University*, 19, pp. 5-10.

Nikolaev V.F., Tabrisov I.I., Penkovsky A.I., Sultanova R.B. (2015). Express method for total content assessment of aromatic hydrocarbons and oxygen in finished gasolines by refractometry and densimetry. *Fuel*, 142, pp. 94-101.

Ozler H.M. (2003). Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey. *Environmental Geology*, 43, pp. 759-775.

Palmer C.C. (1911). The geochemical interpretation of water analysis. Government printing office, Washington, 31 p.

Ritter D.J. (2011). First Order Analysis of Nitrate Loading in the Upper Elbe River Basin, Czech Republic. Brigham Young University BYU Scholars Archive. <http://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3871&context=etd>

Shand P., Abesser C., Farr G., Wilton N., Lapworth D.J., Goody D.C., Haria A., Hargreaves R. (2005). Baseline Report Series: 17. The Ordovician and Silurian meta-sedimentary aquifers of central and south-west Wales. British Geological Survey. <http://nora.nerc.ac.uk/3550/1/CR05034N.pdf>

Schug D.M. (2003). Deep Sea Drilling Project DSDP Volume XXIII Interstitial Waters of Black Sea Cores. [http://www.deepseadrilling.org/42\\_2/volume/dsdp42pt2\\_23.pdf](http://www.deepseadrilling.org/42_2/volume/dsdp42pt2_23.pdf)

Warner N.R., Jackson R.B., Darrah T.H., Osborn S.G., Down A., Zhao K., White A., Vengosh A. (2012). Geochemical evidence for possible natural migration of Marcellus Formation brine to shallow aquifers in Pennsylvania. *Proceed in Nat. Acad. of Sci.*, 109, pp. 11961-11966.

Žaporozec A. (1972). Graphical Interpretation of Water-Quality Data. *Ground Water*, 10, pp. 32-43.

## Сведения об авторах

*Вячеслав Федорович Николаев* – доктор хим. наук, профессор кафедры Технологии основного органического и нефтехимического синтеза

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Россия, 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68

*Лев Евгеньевич Фосс* – кандидат хим. наук, младший научный сотрудник лаборатории химии и геохимии нефти, Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН

Россия, 420088, Казань, ул. Академика Арбузова, 8  
E-mail: [iacw212@gmail.com](mailto:iacw212@gmail.com)

*Бассел Ф. Сулайман* – аспирант кафедры Технологии основного органического и нефтехимического синтеза, Казанский национальный исследовательский технологический университет

Россия, 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68

*Ассель Б. Агыбай* – магистр кафедры Технологии основного органического и нефтехимического синтеза, Казанский национальный исследовательский технологический университет

Россия, 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68

*Алина Хайдэровна Тимиргалиева* – магистр кафедры Технологии основного органического и нефтехимического синтеза, Казанский национальный исследовательский технологический университет

Россия, 420015, Казань, ул.К. Маркса, 68

*Расима Бакиевна Султанова* – кандидат хим. наук, доцент кафедры Технологии основного органического и нефтехимического синтеза, Казанский национальный исследовательский технологический университет

Россия, 420015, Казань, ул. К.Маркса, 68

Статья поступила в редакцию 08.02.2018;

Принята к публикации 23.05.2018; Опубликована 30.06.2018

IN ENGLISH

## The Unified Scale of Natural Waters

V.F. Nikolaev<sup>1</sup>, L.E. Foss<sup>2\*</sup>, B.F. Sulaiman<sup>1</sup>, A.B. Agybay<sup>1</sup>, A.Kh. Timirgalieva<sup>1</sup>, R.B. Sultanova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

<sup>2</sup>Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russian Federation

\*Corresponding author: Lev E. Foss, e-mail: [iacw212@gmail.com](mailto:iacw212@gmail.com)

**Abstract.** The article presents a continual scale of natural waters based on the characteristics of a vector, constructed on the superimposed cationic and anionic Gibbs triangles. We made a stylized hydrochemical clock-type dial based on the compression data of a six-component ionic composition of waters. To ensure successful communication of hydrochemists, exchanging information, we suggest characterize the mineral composition of waters by the direction of the vector, expressed in units (minutes) of the hydrochemical clock-type dial. The article presents equations for digitizing natural waters and for color visualization on hydrogeochemical maps of their mineral composition using Red/Green/Blue and Hue/Saturation/Value models. The analysis of the changes occurring in the natural water composition on maps in time enables us to visually establish hydrodynamic connections between ocean currents, water-bearing horizons, oil reservoirs, producing and injecting wells without using tracers. We provide examples of how the six-component composition of the natural waters of lakes, rivers, seas and oceans transforms into indicators of

the hydrochemical clock-type dial and the corresponding color tones. The use of the color mapping method to analyze the World Ocean processes, associated with the Arctic ice thawing and changes in the waters composition of ocean currents, will allow us to take a fresh look at the global processes of climate change.

**Keywords:** natural waters, ground waters, seawaters, ocean currents, reservoir waters, water classification, cationic composition, anionic composition, analytical chemistry, physical chemistry, mineralization, geochemical map, Gibbs-Roseboom triangle, Maxwell triangle, hydrogeochemistry, HSV (HSB) color model, RGB model, horizontal hydrogeochemical zoning, vertical hydrogeochemical zoning, oil and gas field, data compression

**Recommended citation:** Nikolaev V.F., Foss L.E., Sulaiman B.F., Agybay A.B., Timirgalieva A.Kh., Sultanova R.B. (2018). The Unified Scale of Natural Waters. *Georesursy = Georesources*, 20(2), pp. 58-66. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.2.58-66>



## References

- Allen D.J., Darling W.G., Goody D.C., Lapworth D.J., Newell A.J., Williams A.T., Allen D., Abesser C. (2010). Interaction between groundwater, the hyporheic zone and a Chalk stream: a case study from the River Lambourn. UK. *Hydrogeology*, 18, pp.1125-1141.
- Bortman M., Brimblecombe P., Cunningham M.A., Cunningham W.P., Freedman W. (2003). Environmental Encyclopedia. Gale, Farmington Hills.
- Bearcock J.M., Smedley P.L. (2010). Baseline groundwater chemistry: the Palaeogene of the Thames Basin. British Geological Survey Open Report, OR/10/057. <http://nora.nerc.ac.uk/12600/1/OR10057.pdf>
- Collins A.G. (1975). Developments in Petroleum Science. Vol. I. *Geochemistry of Oilfield Waters*, Elsevier Science, New York, 496 p.
- Criss R.E., Davidson M.L., Kopp J.W. (2001). Nonpoint sources in the lower Missouri River. *Am. Water Works Assoc.*, 93, pp. 112-122.
- Dinka M.O., Loiskandl W., Ndambuki J.M. (2015). Hydrochemical characterization of various surface water and groundwater resources available in Matahara areas, Fantalle Woreda of Oromiya region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, pp. 444-456.
- Dresel P.E., Rose A.W. (2010). Chemistry and Origin of Oil and Gas Well Brines in western Pennsylvania, Open-File Oil and Gas Report 10-01.0. Pennsylvania geological survey. [http://www.fwspubs.org/doi/suppl/10.3996/052013-JFWM-033/suppl\\_file/patnodereference+s3.pdf](http://www.fwspubs.org/doi/suppl/10.3996/052013-JFWM-033/suppl_file/patnodereference+s3.pdf)
- Demirel Z., Güler C. (2006). Hydrogeochemical evolution of groundwater in a Mediterranean coastal aquifer, Mersin-Erdemli basin (Turkey). *Environ Geol.*, 49, pp. 477-487.
- Fraser A.S., Ongley E.D., Meybeck M., Hodgson K. (2003). The Annotated Digital Atlas of Global Water Quality, Global environment monitoring system freshwater quality programme, National Water Research Institute. <http://colin-mayfield.com/biology447/modules/module1/gems/intro.html>
- Freckelton C.N. (2013). A Physical and Geochemical Characterization of Southwestern Ontario's Breathing Well Region. The University of Western Ontario. <https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=2407&context=etd>
- Hem J.D. (1985). Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters. U.S. Geological Survey Water, United States government printing office, Wasington, 263 p.
- Halaj E., Wachowicz-pyzik A. (2013). Examples of applications of geothermal waters for refraction, heating and bottling in selected regions of Hungary. *Geol, Geoph & Environ*, 39, pp. 21-32.
- Hossam H.E. (2010). Potentialities of Water Resources Pollution of the Nile River Delta, Egypt. *The Open Hydrology J.*, 4, pp. 1-13.
- Ibraheem N.A., Hasan M.M., Khan R.Z. (2012). Understanding Color Models: A Review. *Journal of Sci. and Tech.*, 2, pp. 265-275.
- Jing L., Fadong L., Qiang L., Shuai S., Yan Zh., Guangshuai Z. (2014). Impacts of Yellow River Irrigation Practices on Trace Metals in Surface Water: A Case Study of the Henan-Liaocheng Irrigation Area, China. *Human and Ecolog Risk Assessment: An Inter J.*, 20, pp. 1042-1057.
- Kaltofen R., Opitz R., Schumann K., Ziemann J. (1966). Tabellenbuch Chemie. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 485 p.
- Khisamov R.S., Gabdullin T.G., Farhullin R.G. (2009). Control over the development of oil and gas fields. Idel-Press, Kazan, 408 p. (In Russ.)
- Lide D.R. (2006). Concentrative Properties of Aqueous Solutions: Density, Refractive Index, Freezing Point Depression, and Viscosity, in CRC Handbook of Chemistry and Physics. Taylor and Francis. <http://www.hbcpnetbase.com>
- Lopatina A.B. (2016). The chemical composition of the Dead Sea (Israel). *Sci Bull.*, 7, pp. 215-221. (In Russ.)
- Meskaldji Kh., Boucherkha S., Chikhi S. (2009). Color Quantization and its Impact on Color Histogram Based Image Retrieval. CEUR-WS Publisher. <http://ceur-ws.org/Vol-547/60.pdf>
- Manheim F.T., Waterman L.S., Woo C.C., Sayles F.L. (2007). Deep Sea Drilling Project DSDP Volume XXIII. Interstitial Water Studies on Small Core Samples, Leg 23 (Red Sea). [http://www.deepseadrilling.org/23/volume/dsdp23\\_35.pdf](http://www.deepseadrilling.org/23/volume/dsdp23_35.pdf)
- Narany T.S., Ramli M.R., Aris A.Z., Sulaiman W.A., Juahir H., Fakharian K. (2014). Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Sci World J.*, 2014, pp. 1-15.
- Nikolaev V.F., Timirgalieva A.Kh., Barskaya E.E., Egorov A.V., Khanova D.R., Sultanova R.B., Romanov G.V. (2016). Hydrogeochemistry: natural waters in full view. *Bulletin of Kazan Technological University*, 19, pp. 5-10. (In Russ.)
- Nikolaev V.F., Tabrisov I.I., Penkovsky A.I., Sultanova R.B. (2015). Express method for total content assessment of aromatic hydrocarbons and oxygen in finished gasolines by refractometry and densimetry. *Fuel*, 142, pp. 94-101.
- Nikolaev V.F. (2012). Rapid methods for testing composite products of oilfield chemistry and motor fuels. Kazan, KNRTU, 124 p. (In Russ.)
- Nikolaev V.F., Bulygin D.V. (2018). Express Method to Evaluate Mineral Composition of Injected and Associated Water at the Oil Fields. *Oil. Gaz. Novations*, No.4, pp. 48-52.
- Ozler H.M. (2003). Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey. *Environmental Geology*, 43, pp. 759-775.
- Palmer C.C. (1911). The geochemical interpretation of water analysis. Government printing office, Washington, 31 p.
- Ritter D.J. (2011). First Order Analysis of Nitrate Loading in the Upper Elbe River Basin, Czech Republic. Brigham Young University BYU Scholars Archive. <http://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3871&context=etd>
- Samarina V.S. (1977). Hydrogeochemistry. Leningrad, Leningrad State Univ-ty, 360 p. (In Russ.)
- Sulin V.A. (1946). Waters of Petroleum Formations in the System of Nature Waters. Moscow, Gostoptekhizdat, 95 p. (In Russ.)
- Sulin V.A. (1948). Conditions of formation, the basis of classification and composition of natural waters. Part I. Moscow, USSR Academy of Sciences, 105 p. (In Russ.)
- Shand P., Abesser C., Farr G., Wilton N., Lapworth D.J., Goody D.C., Haria A., Hargreaves R. (2005). Baseline Report Series: 17. The Ordovician and Silurian meta-sedimentary aquifers of central and south-west Wales. British Geological Survey. <http://nora.nerc.ac.uk/3550/1/CR05034N.pdf>
- Schug D.M. (2003). Deep Sea Drilling Project DSDP Volume XXIII Interstitial Waters of Black Sea Cores. [http://www.deepseadrilling.org/42\\_2/volume/dsdp42pt2\\_23.pdf](http://www.deepseadrilling.org/42_2/volume/dsdp42pt2_23.pdf)
- Warner N.R., Jackson R.B., Darrah T.H., Osborn S.G., Down A., Zhao K., White A., Vengosh A. (2012). Geochemical evidence for possible natural migration of Marcellus Formation brine to shallow aquifers in Pennsylvania. *Proceed in Nat. Acad. of Sci.*, 109, pp. 11961-11966.
- Žaporozec A. (1972). Graphical Interpretation of Water-Quality Data. *Ground Water*, 10, pp. 32-43.

## About the Authors

*Vyacheslav F. Nikolaev* – DSc (Chemistry), Professor, Department of Technology of Basic Organic and Petrochemical Synthesis, Kazan National Research Technological University  
68 Karl Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation

*Lev E. Foss* – PhD, Junior researcher of Oil Chemistry and Geochemistry Laboratory, Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, FRC Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences  
8 Arbuzov str., Kazan, 420088, Russian Federation  
E-mail: iacw212@gmail.com

*Bassel .F. Sulaiman* – PhD Student, Department of Technology of Basic Organic and Petrochemical Synthesis, Kazan National Research Technological University  
68 Karl Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation

*Asel B. Agybay* – Master, Department of Technology of Basic Organic and Petrochemical Synthesis, Kazan National Research Technological University  
68 Karl Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation

*Alina Kh. Timirgalieva* – Master, Department of Technology of Basic Organic and Petrochemical Synthesis, Kazan National Research Technological University  
68 Karl Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation

*Rasimya B. Sultanova* – PhD (Chemistry), Associate professor, Department of Technology of Basic Organic and Petrochemical Synthesis, Kazan National Research Technological University  
68 Karl Marx str., Kazan, 420015, Russian Federation

Manuscript received 8 February 2018;  
Accepted 23 May 2018; Published 30 June 2018