

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОЙ НЕФТЕДОБЫЧИ

М. Б. Полозов

Рассмотрены пространственные и временные аспекты химического состава подземных вод в условиях длительно-антропогенного воздействия в форме добычи нефтяного сырья. Анализируются особенности межгодовой динамики ионного состава подземных вод.

Ключевые слова: нефтедобыча; нефтяное месторождение; природные воды; химический состав; ионный состав; факторы; динамика качества природных вод.

Удмуртская Республика является одним из старейших нефтедобывающих регионов в Западном Предуралье. К настоящему времени на территории Удмуртской Республики насчитывается более ста месторождений нефти [1].

В результате деятельности нефтепромышленного производства происходит химическое загрязнение природной среды. Непосредственно нефтяное загрязнение на месторождении происходит в результате аварийных разливов, утечек из-за негерметичности фланцевых соединений и сальников, вторичного загрязнения почв в результате миграции подвижных углеводородов с загрязненных участков, выпадения атмосферных осадков, содержащих углеводороды в результате испарения с нефтезагрязненной поверхности и из резервуаров через дыхательные клапаны. Кроме этого, в процессе обслуживания месторождения происходит загрязнение окружающей среды и другими химическими веществами: продуктами сгорания попутного нефтяного газа, выбросами автотранспорта, выбросами котельной, замусоривание территории бытовым мусором [2].

Цель данной работы заключалась в исследовании особенностей пространственной и временной изменчивости химического состава природных вод на территории одного из старейших нефтяных месторождений центральной части Удмуртской Республики, которое находится в стадии падающей добычи.

Контроль качества поверхностных вод осуществляется в нескольких артезианских скважинах в контуре и за контуром разрабатываемых месторождений.

Повсеместно распространены подземные воды нижнеуржумских отложений.

Казанский водоносный комплекс на изучаемой территории имеет мощность 74...104 м. Водоносные породы представлены песчаниками, реже конгломератами, известняками. Наиболее водообильны песчаники [3].

Анализ результатов лабораторных исследований по 279 водопунктам (родникам, колодцам, эксплуатационным водозаборным и наблюдательным скважинам) показал, что большая часть загрязняющих веществ локализуется в первом от поверхности водоносном горизонте (грунтовых водах), поэтому загрязненность их сохраняется на высоком уровне. В грунтовых водах отмечаются большая жесткость, повышенная минерализация и высокое содержание хлоридов.

Исходный материал и методы исследований. В основу работы положены данные гидрохимического мониторинга поверхностных и подземных вод месторождений центральной части Удмуртской Республики. Временной ряд исследования составил: для подземных вод – с 1999 г. по октябрь 2011 г.; для поверхностных вод – с 2000–2001 гг. по октябрь 2011 г. Гидрохимический мониторинг охватывал следующие гидрологические циклы: зимнюю межень, весеннее половодье и летне-осеннюю межень. Частота отбора проб воды составила 4 пробы в год [4].

Для пространственного анализа качества воды рассматриваемых водных объектов по фактическим значениям (концентрациям) ингредиентов химического состава воды рассчитывались упрощенные статистические показатели, широко применяемые при оценке

качества воды: максимальная за период наблюдения концентрация S_{\max} , минимальная концентрация S_{\min} , средняя арифметическая концентрация веществ за период наблюдений \bar{S} :

среднее квадратическое отклонение (стан-

$$\text{дарт) } \sigma_s: \bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i; \quad \sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{n-1}};$$

коэффициент вариации C_{vs} :

$$C_{vs} = \frac{\sigma_s}{\bar{S}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{(n-1)\bar{S}^2}}.$$

Временной анализ качества воды заключался в исследовании межгодовой изменчивости. Для оценки межгодовой динамики строились линии полиномиального тренда (3 степени), описываемые уравнением параболы третьего порядка:

$$\bar{y}_x = a + bx + cx^2 + dx^3.$$

Данная степень полинома была выбрана перебором различных степеней как наиболее подходящая для выявления тенденции в динамике концентраций загрязняющих веществ (особенно антропогенного происхождения), когда на фоне естественной тенденции (гидрологические фазы) проявляются эпизоды, связанные с залповым поступлением вещества в водные объекты (хлориды, нефтепродукты) [3].

Статистическая значимость полиномиального тренда оценивалась по величине квадрата коэффициента корреляции R^2 (коэффициент детерминации) между y и x . Величина R^2 показывает, каков вклад полиномиального тренда в общую изменчивость содержания той или иной примеси в воде за рассматриваемый период времени. Коэффициент детерминации R^2 – оценка качества («объясняющей способности») уравнения регрессии, доля дисперсии объясненной зависимой переменной y :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2},$$

где y_i – наблюдаемое значение зависимой переменной y ; \hat{y}_i – значение зависимой переменной, предсказанное по уравнению регрессии; \bar{y} – среднее арифметическое зависимой переменной.

Чем ближе к единице R^2 , тем точнее выбранный тренд описывает динамику того или иного показателя качества воды.

Для оценки временной изменчивости основных составляющих ионного стока был использован метод М. П. Максимовой, когда критерием оценки антропогенной составляющей компонентов солевого состава может служить их соотношение. При оценке антропогенной составляющей в качестве репера используется концентрация гидрокарбонатных ионов [5], [6].

Обсуждение результатов:

1. Пространственный анализ загрязненности природных вод по упрощенным статисти-

Таблица 1

Упрощенные статистические показатели качества поверхностных вод

Показатель качества воды	Упрощенные статистические показатели				
	S_{cp}	S_{max}	S_{min}	σ_s	C_{vs}
Жесткость, ммоль/л	5,966...6,177	6,917...7,914	3,668...4,676	0,492...0,911	0,083...0,147
Минерализация, мг/л	479,127...532,761	559,183...598,331	401,712...455,023	38,100...41,035	0,077...0,079
Гидрокарбонаты, мг/л	288,126...364,580	314,085...411,373	228,863...313,135	23,500...26,860	0,074...0,082
Хлориды, мг/л	16,287...53,238	26,363...66,912	3,780...39,764	7,363...9,199	0,173...0,452
Сульфаты, мг/л	19,313...20,158	25,000...37,716	7,203...13,243	3,722...8,883	0,193...0,441
Кальций, мг/л	92,729...98,697	104,315...116,423	61,639...73,041	8,151...12,853	0,088...0,130
Магний, мг/л	15,221...16,256	18,612...23,636	2,956...14,492	1,222...5,867	0,075...0,385
Натрий, мг/л	17,996...18,663	38,785...45,658	2,112...2,806	11,753...13,749	0,630...0,764
Нефтепродукты, мг/л	Большинство значений менее 0,05 мг/л				

стическим показателям выявил, что в подземных водах заметно выше содержание ионов

натрия и нефтепродуктов (табл. 1, 2). Все остальные показатели качества воды в под-

земных водных объектах оказались достаточно близкими по своим значениям.

2. Для подземных вод также фиксируется значительная вариация содержания ионов натрия ($C_{\text{ис}} = 0,383 \dots 1,188$) и хлоридов. Однако третьим, наиболее заметно варьируемым показателем качества воды для подземных вод, является содержание в водах нефтепродуктов (табл. 2).

При исследовании динамики химического состава подземных вод выяснилось, что наиболее выраженные тренды изменения показателей качества воды характерны для скважины, расположенной вблизи серьезного техногенного источника воздействия на подземные воды – ЦСПН. Именно для подземных вод, вскрытых скважиной № 18941, характерны наиболее показательные тренды

Таблица 2

Упрощенные статистические показатели качества подземных вод

Показатель качества воды	Упрощенные статистические показатели				
	$S_{\text{ср}}$	S_{max}	S_{min}	σ_s	$C_{\text{ис}}$
Жесткость, ммоль/л	4,076...6,177	5,306...7,674	0,080...1,388	0,207...2,296	0,041...0,473
Минерализация, мг/л	394,037...475,644	499,505...531,307	24,730...427,288	32,191...144,911	0,059...0,368
Гидрокарбонаты, мг/л	277,818...329,935	351,082...360,448	11,758...288,341	14,691...106,596	0,045...0,384
Хлориды, мг/л	4,072...19,983	9,122...52,499	0,095...4,568	2,072...14,166	0,509...0,709
Сульфаты, мг/л	11,835...18,191	23,715...41,383	1,471...6,168	4,563...12,776	0,319...0,702
Кальций, мг/л	36,304...70,892	57,006...122,579	0,889...36,078	5,033...40,615	0,103...0,744
Магний, мг/л	16,028...32,010	22,683...56,186	0,5...29,092	1,396...15,400	0,044...0,560
Натрий, мг/л	17,036...40,214	8,157...118,585	0,207...30,698	6,531...47,777	0,383...1,188
Нефтепродукты, мг/л	0,044...0,053	0,123...0,159	0,003...0,015	0,022...0,044	0,500...0,837

в динамике ингредиентов химического состава. Среди них выделяется отчетливая тенден-

ция значений минерализации воды. На графике (рис. 1) можно увидеть резкое снижение

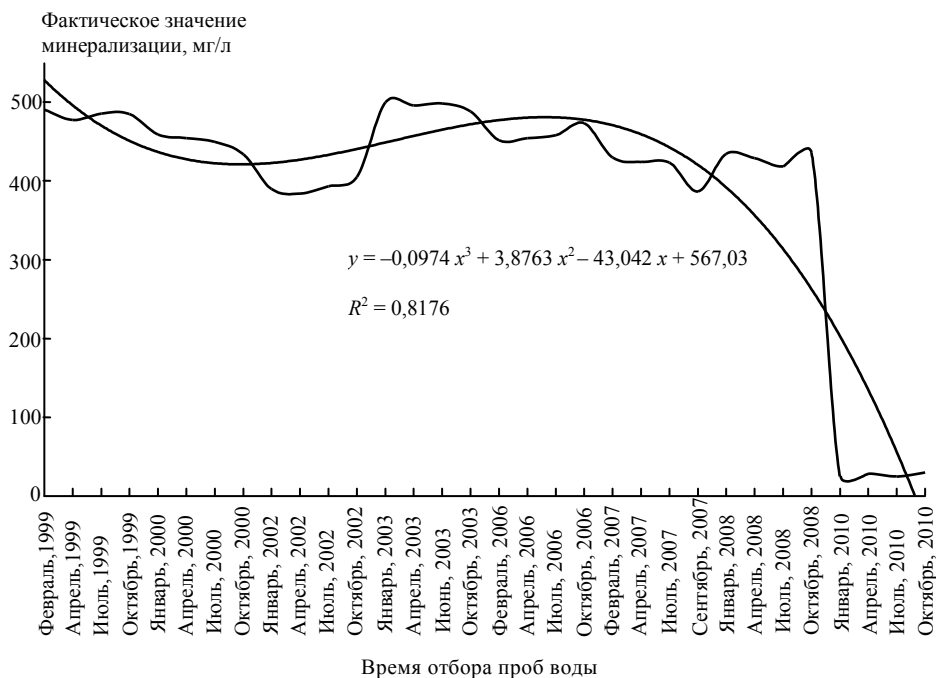


Рис. 1. Динамика фактического значения минерализации подземных вод скв. № 18941 (ЦСПН)

этого показателя качества воды с 2006 г. при хорошей представительности тренда, описывающего эту динамику ($R^2 = 0,82$).

Таким же высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,75$) отличается полиномиальный тренд, описывающий изменчивость

содержания гидрокарбонатного иона в подземных водах этой скважины. С 2006 г. происходит выраженный спад этого показателя

качества воды (рис. 2). В целом, графики изменения этих двух показателей качества воды оказались очень схожими (рис. 1, 2).

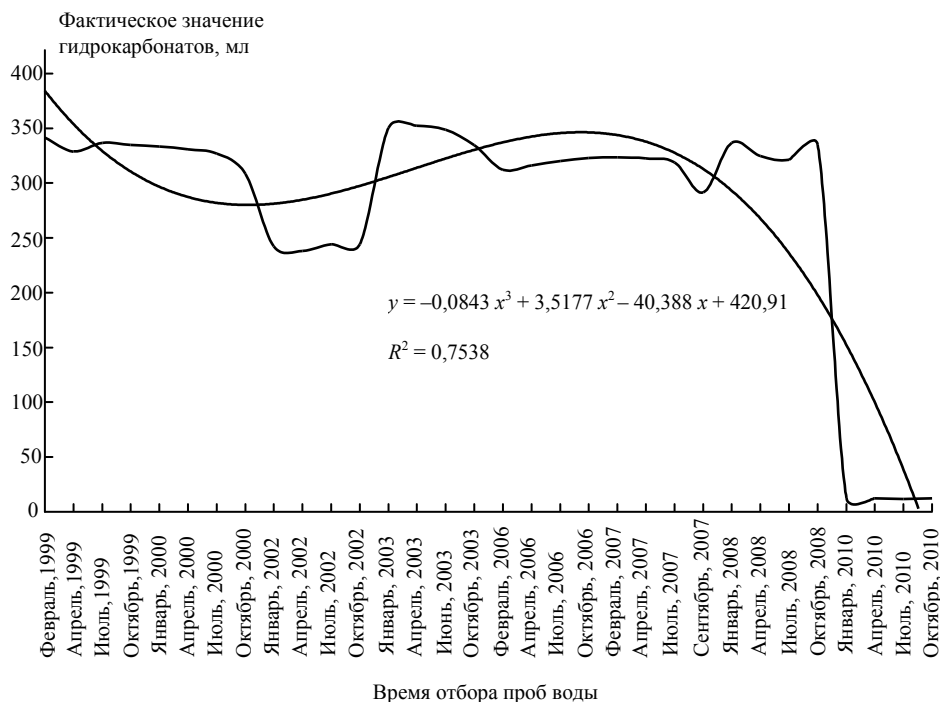


Рис. 2. Динамика фактического содержания гидрокарбонатов в подземных водах скв. № 18941

Еще одним основным показателем качества природных вод, чья динамика также от-

четливо проявилась за время наблюдения, является снижение содержание нефтепродуктов

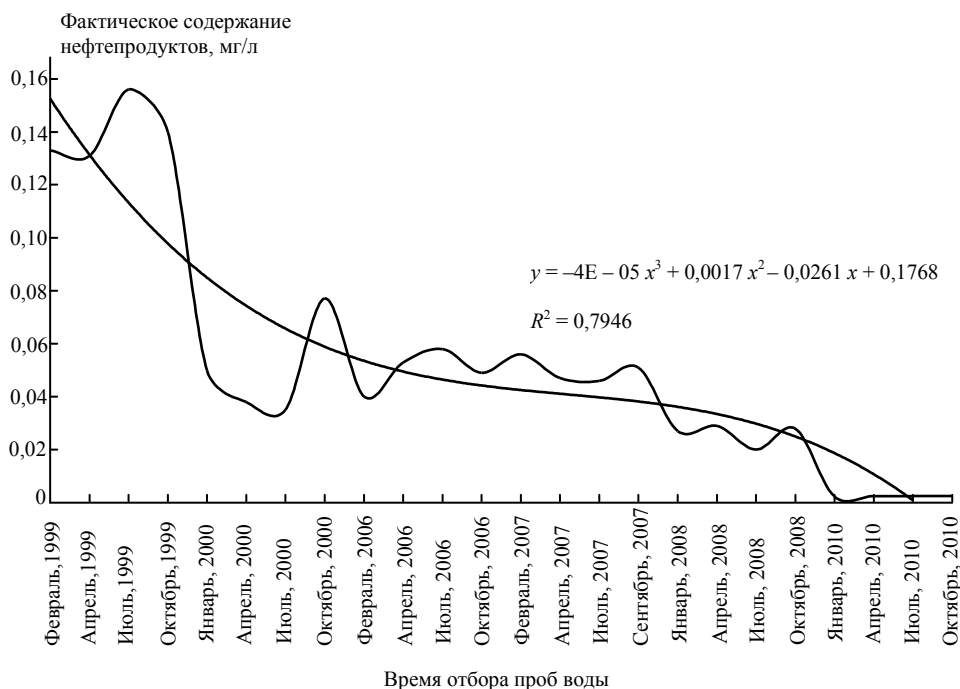


Рис. 3. Динамика фактического содержания нефтепродуктов в подземных водах скв. № 18941

(рис. 3) в рассматриваемых подземных водах. Заметный рост содержания хлоридов

в подземных водах скв. 2603 (рис. 4) вполне коррелирует с динамикой $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$. По

тренду заметно, что происходит рост хлоридной составляющей в солевом стоке в сравнении с гидрокарбонатной составляющей в последние годы наблюдения.

Итак, подземные воды территории Архангельского нефтяного месторождения, находящегося на стадии падающей добычи, оказались схожими по значению жесткости и

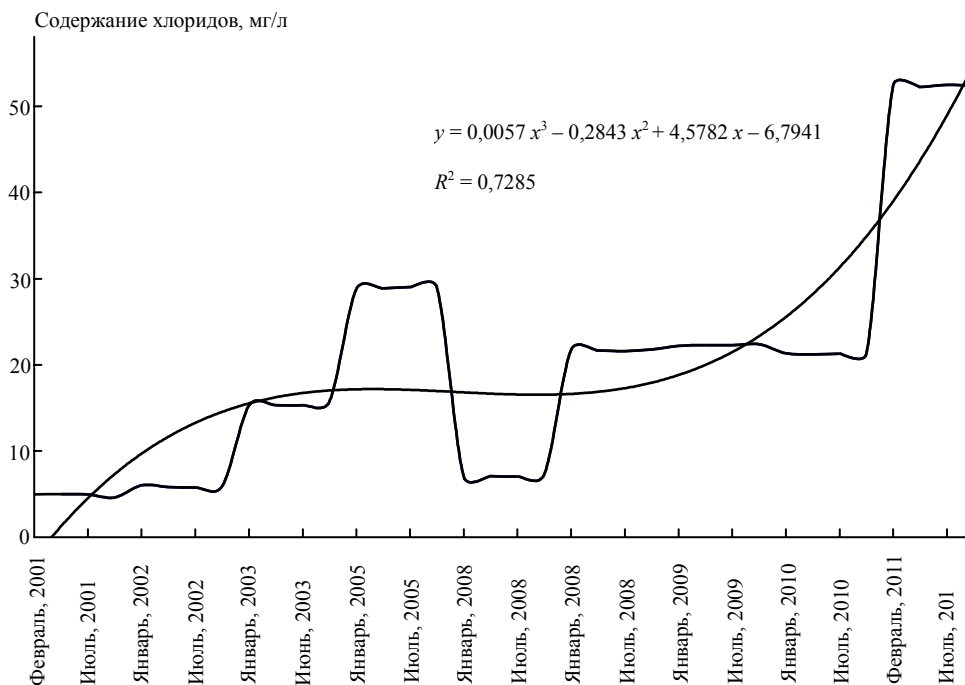


Рис. 4. Динамика содержания хлоридов в водах скв. 2603

минерализации воды, содержанию основных ионов, за исключением ионов хлора и натрия.

Подземные воды Архангельского месторождения нефти, в отличие от поверхностных вод этой территории, характеризуются большим содержанием ионов натрия и нефтепродуктов. Несмотря на это, по содержанию ионов натрия в подземных водах месторождения за весь период исследования не наблюдалось превышений нормативов для источников хозяйственно-питьевого водоснабжения. По содержанию нефтепродуктов повторяемость случаев превышения санитарно-гигиенических нормативов за весь временной ряд составила от 3 до 17 % (в зависимости от скважины).

При анализе изменения химического состава подземных вод выяснилось, что наиболее заметную межгодовую изменчивость имеют показатели химического состава подземных вод, приближенных к техногенным

объектам нефтедобычи. При удалении от таковых и приближении к диффузным источникам загрязнения, свойственным сельской местности, выраженность трендов динамики показателей подземных вод резко снижается. Сказывается совместное воздействие нескольких антропогенных факторов в формировании химического состава подземных вод без явного превалирования какого-либо из этих факторов.

Общих тенденций в изменении фактических показателей качества подземных вод разных эксплуатационных водозаборных скважин не выявлено. Метод соотношения также не выявил общих тенденций в динамике ингредиентов ионного состава, как это проявилось в случае с поверхностными водами, где был зафиксирован слабый рост натриевой и сульфатной составляющей в ионном составе воды рек за последние годы наблюдения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О состоянии окружающей природной среды Удмуртской Республики в 2010 г.: гос. доклад. Ижевск, 2011. 238 с.
2. Полозов М. Б. Экология нефтегазодобывающего комплекса. Ижевск: Удмурт. гос. ун-т, 2012. 172 с.
3. Гагарина О. В. Анализ временной динамики и пространственной изменчивости качества поверхностных вод: дис. ... канд. географ. наук. Ижевск, 2007. 238 с.
4. Организация и функционирование системы специальных наблюдений за состоянием поверхностных вод суши в районах разработки месторождений нефти, газа и газоконденсата. Методические указания: РД 52.24.354-94; дата введения 1995-07-01.

5. Максимова М. П. Критерии оценки антропогенных изменений и расчет антропогенной составляющей ионного стока рек // Водные ресурсы. 1985. № 3. С. 71–75.

6. Максимова М. П. Критерии оценки антропогенной составляющей содержания тяжелых металлов в речном стоке // Водные ресурсы. 1993. Т. 20, № 2. С. 270–273.

Поступила в редакцию 16 сентября 2013 г.

Полозов Михаил Брониславович – кандидат биологических наук, доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Института нефти и газа им. М. С. Гучериева. 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, Удмуртский государственный университет. E-mail: michael999@inbox.ru