

УДК 502.5(204) : 556(470.21)

В.В. Максимова, С.И. Мазухина, В.А. Маслобоев

Особенности протекания процесса деградации нефтяных углеводородов в водах Кандалакшского залива по результатам физико-химического моделирования

V.V. Maksimova, S.I. Mazukhina, V.A. Masloboev

The features of the degradation process of petroleum hydrocarbons in the Kandalaksha Bay resulting from physical-chemical modeling

Аннотация. Проведено обобщение результатов исследований состава вод Кандалакшского залива Белого моря, в том числе химико-аналитических исследований и последующего компьютерного моделирования с помощью программного комплекса по расчету равновесного состава гетерофазных многокомпонентных систем "Селектор"; сделана попытка выявления наиболее значимых факторов, определяющих особенности протекания процесса деградации нефти в водах залива.

Abstract. In this paper the results of studies of waters in the Kandalaksha Bay of the White Sea have been generalized; the chemical analysis and subsequent computer simulation using the software package for calculation of the equilibrium composition of multicomponent heterophase systems "Selector" have been conducted; an attempt to identify the most important factors determining the characteristics of the oil degradation process in the bay waters has been made.

Ключевые слова: Кандалакшский залив, нефтяное загрязнение, физико-химическое моделирование, мониторинг вод, морские воды, распреснение, антропогенное загрязнение

Key words: Kandalaksha Bay, oil pollution, physical-chemical modeling, water monitoring, sea water, desalination, anthropogenic contamination

1. Введение

Химическое загрязнение морей и океанов нефтяными углеводородами в настоящее время является одной из актуальных экологических проблем. Помимо угнетающего воздействия на биоту, нефть и нефтепродукты, попадающие в природную среду вследствие антропогенной деятельности или природных факторов, имеют способности к накоплению и пролонгированию действия на экосистемы. Особенно этот аспект проблемы значим для крайне уязвимых экосистем Крайнего Севера.

В настоящее время накоплен значительный массив данных по исследованию поведения нефти и нефтепродуктов в природных системах. Недостаточность количественного описания сложных природных процессов может быть преодолена с помощью методов физико-химического моделирования. При достаточно ограниченных начальных данных, метод позволяет получить детальное представление о протекании процесса в природной среде.

Цель работы – рассмотрение основных тенденций изменения гидрохимических показателей в зависимости от степени распресненности морских вод, температурного режима и соответствующее изменение процесса протекания деградации нефтяных углеводородов в растворе.

2. Район, объекты и методы исследования

Антропогенное влияние в Кандалакшском заливе наиболее ярко проявляется в мелководной части (вершине залива). Очагами загрязнения залива органическими веществами являются акватория Кандалакшского рейда, акватории, прилегающие к морскому торговому порту и специализированному морскому порту "Витино", территория ЗАО "Беломорская нефтебаза" и районы выпуска сточных вод предприятий и города Кандалакши с подведомственными территориями (преимущественно сброс в реку Нива). Согласно Обзору состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год (*Обзор...*, 2013), качество вод в торговом порту оценивалось III классом "умеренно загрязненные". В 2012 г. наблюдения на водопосту в торговом порту г. Кандалакши были выполнены с марта по октябрь. Содержание нефтяных углеводородов в поверхностном слое морских вод в мае составило 0,02 мг/дм³, в июле – 0,07 мг/дм³, а в остальное время года было ниже предела обнаружения использованного метода анализа. Хлорорганические пестициды были обнаружены в водах порта Кандалакша в июле, августе и октябре. Характерно появление пестицидов в воде порта только во второй

половине года, что, вероятно, связано с дождевым смывом загрязняющих веществ с суши. Концентрация железа и меди в воде порта превышала ПДК почти во всех отобранных пробах, а средние за год концентрации составляли 1,4 и 1,7 ПДК соответственно. Уровень растворенного в воде кислорода был в целом пониженным и изменялся в диапазоне 6,20-9,53 мгО₂/дм³, в среднем 7,51 мгО₂/дм³ (59,6-67,0 % насыщения) (Обзор..., 2013).

К основным гидрологическим характеристикам Кандалакшского залива можно отнести следующие: относительно низкую минерализацию, неоднородность рельефа дна для вершины залива, ледовый покров в течение значительной части года, стратифицированную вертикальную структуру вод, неоднородность скоростей течений.

Отбор проб проходил преимущественно в вершине Кандалакшского залива. Точки отбора проб представлены на рисунке.



Рис. Точки отбора проб, Кандалакшский залив

Выбор района обоснован близостью расположения ЗАО "Беломорская нефтебаза" и Морского порта "Витино", а также непосредственным положением в природоохранной зоне Кандалакшского государственного заповедника. Отборы проб проводились в сотрудничестве с Кандалакшским государственным заповедником. При авариях, сопровождающихся разливами нефтепродуктов, данный район характеризуется достаточно сложными гидрометеорологическими условиями, что приводит к затруднениям в ликвидации разлива. Согласно работам (Корякин, Юрченко, 2010; 2006) с лета 1971 г. в вершине Кандалакшского залива были отмечены пятна нефтяных пленок в связи с введением в эксплуатацию первой очереди нефтебазы (осень 1970 г.). Впоследствии, неоднократно наблюдались локальные превышения уровня загрязнения вод нефтепродуктами в данном районе, несущие непосредственную угрозу для состояния биоты Кандалакшского заповедника. Их перечень за период с 1979 по 1998 гг. представлен в той же работе. В последние годы мониторинг уровня загрязнения вод в районе специализированного порта Витино и Беломорской нефтебазы проводится лабораторией ЗАО "Беломорская нефтебаза" и Мурманским управлением по гидрометеорологии и контролю окружающей среды.

Отборы проб проводились в зимний и летний периоды с 2011 по 2013 гг. Далее пробы подвергались химико-аналитическим исследованиям. По их результатам были выполнены термодинамические расчеты по изучению ионного состава поверхностных и придонных вод вершины Кандалакшского залива, в дальнейшем в сформированную систему было введено изменяющееся количество нефти. Проведение полного химического анализа сложных природных систем трудоемко, результаты анализа при изменении термического и барического режимов могут искажаться, протекание многих реакций занимает значительный период времени, многие соединения существуют только в метастабильном состоянии. В данном случае обоснованным можно считать применение для рассмотрения многокомпонентных систем методов физико-химического моделирования.

3. Результаты и обсуждение

Восстановление полного химического состава вод залива проводилось с помощью физико-химического моделирования (ПК "Селектор", Чудненко, 2010). Реконструкция ионного состава морских вод исследовалась в рамках системы Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-H-O-e,

где e – электрон, опробованный в предыдущих работах (Мазухина и др., 2008; Мазухина, 2012; Калинин и др., 2013).

Анализ данных мониторинга показал вариабельность концентраций всех основных катионов и анионов в поверхностных и придонных водах. Соленость в поверхностных водах изменялась от 16-18 ‰ и только в точке 6 – 21 ‰. В придонных водах соленость была более стабильна – 26-27 ‰. Расчеты показали наличие кислорода в поверхностных и придонных водах (кроме точки 3), содержание которого изменялось от 6,2 до 7,48 мг/л. Значение рН было максимальным в точке 6 (8,03), где явно прослеживается привнос баренцевоморских вод.

Для точек 1 и 2 (см. рис.) характерно наличие градиента солености вод. В р. Ниву и устьевой участок Отводного канала поступают сточные воды от предприятий жилищно-коммунального хозяйства и нормативно чистые воды Каскада Нивских ГЭС и рыбоводного завода. За предыдущие годы наиболее часто превышение норм ПДК для р. Нивы наблюдалось для меди, ртути, органических веществ (по ХПК), алюминия и железа. Экстремально высокий уровень загрязнения на 2012 г. был отмечен для ртути. Содержание других загрязняющих веществ не превышало нормы. В Отводном канале Нива ГЭС–III по предыдущим годам отмечено превышение ПДК по содержанию меди и ртути, но в целом уровни их содержания меньше, чем в р. Нива. Повышенные концентрации загрязняющих веществ наблюдались преимущественно в мае-июне во время паводка и в реке, и в канале. По коэффициенту комплексности загрязненности вод р. Нива и Отводной канал относятся к водным объектам I класса, загрязненным по единичным показателям (Справка..., 2008).

Содержание основных ионов (Na, Ca, Mg, K), содержание кислорода, HCO_3^- по результатам аналитических исследований и моделирования сопоставимы с химическим составом вод Белого моря (Леонова, Бобров, 2012). Анализ данных для точек 5 и 6 показывает сопоставимость концентраций Cu, Sr, Pb, Zn, Fe, Mn. Причем концентрации Cu, Zn, Mn на порядок выше представленных в работе (Леонова, Бобров, 2012), тогда как концентрации Sr, Pb, Fe достаточно близки к данным цитируемой работы. В точках 3 и 4 воды также распресненные. Концентрации всех основных ионов (Na, Ca, Mg, K) значительно ниже, чем в точках 6 и 5, тогда как концентрации Cu, Sr, Zn, Fe, Mn сопоставимы.

Состав придонных вод по результатам аналитических исследований и моделирования для точек 3 и 4 представлен в табл. 1. Результаты моделирования химического состава донных вод (точка 3) (табл. 1) указывает на высокие содержания углекислого газа, сероводорода, гидрокарбонатов (HCO_3^-), отсутствие кислорода ($E_h < 0$).

Таблица 1. Результаты анализов и термодинамических расчетов состава морской воды (Кандалакшский залив), мг/л

Параметры	Проба № 3 – дно		Проба № 6 – дно	
	Анализ	Модель	Анализ	Модель
Si	1,664		3,658	
SiO ₂		1,15		2,35
HSiO ₃ ⁻		0,019		0,0817
H ₄ SiO ₄		3,36		6,87
HS ⁻		27,7		–
Cl ⁻	13907,58	13100	14217,32	13400
NO ₃ ⁻	0,1	0,0992	0,1	0,0992
NH ₄ ⁺	6,24	6,19	7,39	7,33
Zn ⁺²	0,0705	0,0374	0,12353	0,0534
ZnCl ⁺		0,0196		0,0276
ZnOH ⁺		0,0188		0,0555
Cu ⁺²	0,05	0,0181	0,0467	0,0209
Cu ⁺		9,50E-07		
CuOH ⁺				0,0179
CuCl ⁺				0,0172
CuCl ₂ ⁻		0,0445		
Pb ⁺²	0,00183	5,95E-05	0,00353	6,56E-05
PbCl ⁺		3,95E-04		4,43E-04
PbOH ⁺		0,00106		2,56E-03
Ni ⁺²	0,1889	0,187	0,1889	0,132
NiOH ⁺		1,01E-04		1,89E-04
Sr ⁺²	3,5273	2,94	6,9467	6,08

Это свидетельствует о трансформации углеводородов, которые, возможно, попали в район отбора проб в мае 2011 г. при техногенной аварии или в результате постоянного подтока НУ от нефтебазы.

В исследованиях Ю.Н. Гурского (2003) отмечены положительные значения Eh в придонных водах и на поверхности илов. В настоящее время, по-видимому, ситуация меняется за счет долговременного накопления поллютантов вблизи нефтебазы.

Данные выводы нашли подтверждение и в результатах федерального мониторинга геологической среды, которые выполнялись ФГУНПП "Севморгео" с 2001 по 2011 гг. В 2009 г. отсутствие зоны окисления при отборе донных отложений зафиксировано на Кандалакшском рейде, напротив порта. На поверхности осадков были развиты черные илы, с которыми связаны повышенные концентрации тяжелых металлов и нефтепродуктов (Корнеев и др., 2012).

При анализе проб, отобранных в точке 4 в 2013 г., обнаружено присутствие нефтяных углеводородов в поверхностном (0,09 мг/л) и придонном (0,1 мг/л) слоях.

При моделировании влияния температурного режима (от 0 °С до 10 °С) и распресненности вод на особенности протекания процесса деградации нефти в водах залива получены следующие результаты.

pH раствора снижается с увеличением количества взаимодействующей нефти. При значительном содержании нефтяных углеводородов происходит постепенная смена среды с окислительной на восстановительную. Наблюдается пиковое содержание сульфатов и гидросульфатов, уменьшается до минимума содержание растворенного кислорода, растворенный азот переходит в форму NH₃. При содержании нефтяных углеводородов 0,316 г/л раствора начинается образование газовой фазы и металлоорганок комплексов в растворе. Растворенные сульфаты постепенно переходят в соединения HS⁻ и H₂S. Далее происходит формирование углекисло-метано-сероводородной атмосферы.

Термодинамическое моделирование системы "нефть – морская вода" при температурах 5 °С и –1 °С не показало существенных различий в протекании процесса деградации углеводородов. Результаты моделирования в условиях метастабильного равновесия, без конечных продуктов распада нефтяных углеводородов следующие: наличие окислительно-восстановительного барьера при значительном скачке pH раствора, выпадение и оседание твердых углеводородов из раствора при содержании нефти в воде порядка 3 г/л. При уровне pH 6,58 в условиях метастабильного равновесия из раствора начинают выпадать органические соединения. Преимущественно это углеводороды с количеством атомов углерода от 10 до 20. При наступлении полного равновесия они распадаются на метан и углекислый газ. Также на данном этапе взаимодействия начинается образование металлоорганических комплексов в растворе.

По аналитическим данным были созданы термодинамические модели пресных и морских вод и изучены различные сценарии взаимодействия морской и пресной воды (1000 кг) с нефтью (100 г), где количество нефти учитывалось в зависимости от степени взаимодействия – 10^ξ. В моделях ξ изменялась от 3 до –2, что соответствовало изменению содержания нефти от 0,1 мг/л до 10 г/л в системе "вода – нефть". Состав нефти (масс %) С – 86, Н – 13. Расчеты проводились при 25 °С и P = 1 бар.

По результатам моделирования процесса смешения морских и пресных вод с добавлением нефти можно отметить следующие ключевые моменты. Изменение окислительно-восстановительных условий в морских водах при одинаковых соотношениях "вода – нефть" происходит при меньших, чем в речных и значительно распресненных водах, концентрациях нефти. Изменение значений pH для морских вод не столь значительное, как для пресных вод. В пресных водах значения pH смещены в более кислую область, тогда как в морских водах этого не происходит из-за выпадения из раствора карбонатов, которые образуются не при всех ξ, а при 3 < ξ < 2 и -0,5 < ξ < -2. В газовой фазе формируется сероводородная азотно-углекислая метановая атмосфера.

Рост концентрации иона NH₄⁺ в морских водах не сказывается на изменении значений pH (поскольку идет интенсивное осадкообразование). Последствия разлива нефти в районе значительного и незначительного распреснения вод будут различны, что определяется разной степенью смешения морских и пресных вод.

Характер изменения pH и Eh в системе "вода – нефть" в зависимости от степени взаимодействия с нефтью (см. рис.) позволяет выявить явную закономерность образования окислительно-восстановительного барьера в морских (1 < ξ < 0,8) и пресных водах (ξ = 0,7). Согласно результатам наших исследований, образование органокомплексов происходит при 0,1 < ξ < 0 в морских водах и 0,01 < ξ < 0 в пресных. Причем концентрации CaCH₃COO⁺, MgCH₃COO⁺, NaCH₃COO⁰ в морских водах выше на 2 порядка, чем в пресных.

Результаты моделирования смешения морских вод и вод р. Нива в разных соотношениях показывают изменение концентраций всех основных катионов и анионов с увеличением содержания

пресной воды в объеме смешения, изменение количественного и качественного состава новообразованных фаз, при практически постоянных значениях pH и концентрации кислорода (табл. 2, 3).

Таблица 2. Концентрации основных катионов и анионов с увеличением содержания пресной воды в объеме смешения, мг/л

Соотношение морских и пресных вод	C	Ca ⁺²	K ⁺	Mg ⁺²	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	O ₂
1000/1	14,5	138	125	369	2250	4480	496	60,7	10,9
1000/10	14,4	137	124	366	2230	4440	493	60,3	10,9
1000/100	13,4	127	114	339	2050	4090	467	56,7	10,9
1000/1000	8,59	75	63	199	1140	2270	315	37,7	11,0

Таблица 3. Минеральный состав новообразованных фаз, %

Соотношение морских и пресных вод	MnO ₂	FeO(OH)	Msc	Ca ₅ (PO ₄) ₃ F	Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH	SiO ₂	Eh	pH
1000/1	0,03	22,22	31,79	0,81	3,6	41,55	0,793	7,598
1000/10	0,03	23	33,12	4,61	0	39,23	0,793	7,598
1000/100	0,13	36,56	55,71	7,43	0	0,17	0,793	7,598
1000/1000	0,48	31,13	61,61	6,76	0	0,02	0,794	7,59

Для Кандалакшского залива характерно значительное распреснение речными низкоминерализованными водами гидрокарбонатного типа, что способствует повышению растворимости нефтяных компонентов. Циркуляционные течения и значительная неоднородность рельефа дна способствует осаждению смолистых веществ и депонированию в донные отложения. Данное явление приводит к замедлению процесса деградации углеводородов и долговременному токсичному воздействию на биоту.

4. Заключение

В данной работе обобщены результаты исследований, проведенных в течение 2011-2013 гг. в акватории Кандалакшского залива. По данным, полученным в результате проведенного мониторинга, была сформирована физико-химическая модель состава чистых и распресненных беломорских вод с их последующим взаимодействием с нефтью при различных соотношениях "вода – нефть".

К особенностям процесса деградации углеводородного загрязнения в вершине Кандалакшского залива Белого моря можно отнести следующие. В распресненных водах залива выше растворимость отдельных фракций нефтяных углеводородов. Циркуляционные течения и значительная неоднородность рельефа дна способствует осаждению смолистых веществ и их депонированию в донные отложения.

Зачастую как при лабораторном эксперименте, так и при использовании компьютерного моделирования, невозможно учесть все факторы, оказывающие влияние на процесс. Поэтому при проведении подобных исследований необходимо четкое осознание того, какие факторы среды необходимо принимать во внимание при эксперименте либо моделировании для точности получаемого результата, а какие, не оказывая значительного влияния на результат, будут усложнять модель и затруднять постановку задачи.

В совокупности с неоднократно отмечаемыми превышениями ПДК по отдельным компонентам (тяжелым металлам, в частности, ртути) и сорбирующими свойствами депонированных в донных отложениях углеводородов, данное явление приводит к выводу об опасности сложившейся ситуации. Невзирая на относительную незагрязненность глубоководной части залива, на мелководных участках вершины залива, подвергающихся интенсивному антропогенному воздействию (район Кандалакшского рейда и район морского порта "Витино"), идет постепенное накопление нефтяных углеводородов в нижних слоях вод, иловых водах и донных отложениях. Тяжелые металлы, содержащиеся в стоках крупных рек и стоках промышленных предприятий района, способны сорбироваться на углеводородных соединениях, при этом процесс естественного самоочищения вод Кандалакшского залива затруднен вследствие климатических особенностей. Нефтяное загрязнение поверхностных вод существенно изменяет состояние природной среды: уменьшается pH, формируются восстановительные условия, резко снижается содержание растворенного кислорода в растворе. Со снижением температуры для вод залива характерно увеличение образования металлоорганок комплексов в растворе и накопление органических кислот (карбоновые и нафтенческие кислоты).

Литература

- Гурский Ю.Н.** Геохимия литогидросферы внутренних морей. Том 1. Методы изучения и процессы формирования химического состава иловых вод в отложениях Черного, Азовского, Каспийского, Белого, Балтийского морей. М., ГЕОС, 332 с., 2003.
- Калинников В.Т., Мазухина С.И., Маслобоев В.А., Чудненко К.В., Максимова В.В.** Особенности взаимодействия "нефть – вода" в морских и пресных водах. ДАН, т. 449, № 5, с. 535-538, 2013.
- Корнеев О.Ю., Рыбалко А.Е. и др.** Осуществление Государственного мониторинга состояния геологической среды прибрежно-шельфовой зоны Баренцева, Белого и Балтийского морей. Окончательный отчет по Государственному контракту. Фонды Севморгео, с. 53-63, 2012.
- Корякин А.С., Юрченко С.В.** Аварийные разливы нефтепродуктов в Кандалакшском заливе. Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2010 год. Кандалакша. Кандалакшский заповедник, кн. 56, т. 1, с. 92-107, 2010.
- Корякин А.С., Юрченко С.В.** Сбросы загрязняющих веществ ЗАО "Беломорская нефтебаза" в акваторию Кандалакшского залива. 2004-2006 гг. Летопись природы Кандалакшского заповедника за 2006 год. Кандалакша. Кандалакшский заповедник, кн. 52, т. 1, с. 27-37, 2006.
- Леонова Г.А., Бобров В.А.** Геохимическая роль планктона континентальных водоемов Сибири в концентрировании и биоседиментации. Новосибирск, Академическое изд-во "ГЕО", 314 с., 2012.
- Мазухина С.И.** Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты, КНЦ РАН, 173 с., 2012.
- Мазухина С.И., Чудненко К.В., Бычинский В.А., Маслобоев В.А.** Физико-химическое моделирование взаимодействия "нефть – природные воды". Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы. СПб., СПбГУ, ВВМ, с. 170-179, 2008.
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год. Под ред. Ю.А. Израэля, М., Росгидромет, 178 с., 2013.
- Справка о качестве поверхностных вод суши и морских вод на территории деятельности ГУ "Мурманское УГМС" за 2007 год (Мурманская область, Кандалакшский район). Под ред. М.Н. Зуевой. Мурманск, Центр мониторинга окружающей среды, 19 с., 2008.
- Чудненко К.В.** Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения. Новосибирск, Академическое изд-во "ГЕО", 287 с., 2010.

References

- Gurskiy Yu.N.** Geokhimiya litogidrosferyi vnutrennih morey [Geochemistry of litho- and hydrosphere of inland seas]. Tom 1. Metodyi izucheniya i protsessyi formirovaniya himicheskogo sostava ilovyih vod v otlozheniyah Chernogo, Azovskogo, Kaspiyskogo, Belogo, Baltiyskogo morey. M., GEOS, 332 p., 2003.
- Kalinnikov V.T., Mazuhina S.I., Masloboev V.A., Chudnenko K.V., Maksimova V.V.** Osobennosti vzaimodeystviya "neft-voda" v morskikh i presnyih vodah [Peculiarities of "oil – water" interaction in marine and fresh waters]. DAN, t. 449, N 5, p. 535-538, 2013.
- Korneev O.Yu., Rybalko A.E. i dr.** Osuschestvlenie Gosudarstvennogo monitoringa sostoyaniya geologicheskoy sredy pribrezhno-shelfovoy zonyi Barentseva, Belogo i Baltiyskogo morey [Implementation of the State monitoring status of the geological environment on the coastal shelf zone of the Barents, White and Baltic Seas]. Okonchatelnyiy otchet po Gosudarstvennomu kontraktu. Fondyi Sevmorego, p. 53-63, 2012.
- Koryakin A.S., Yurchenko S.V.** Avariynnye razlivyi nefteproduktov v Kandalakshskom zalive [Emergency oil spills in the Kandalaksha Bay]. Letopis prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2010 god. Kandalaksha. Kandalakshskiy zapovednik, kn. 56, t. 1, p. 92-107, 2010.
- Koryakin A.S., Yurchenko S.V.** Sbroysi zagryaznyayuschih veschestv ZAO "Belomorskaya neftebaza" v akvatoriyu Kandalakshskogo zaliva. 2004-2006 gg. [Discharges of pollutants by CJSC "Belomorskaya Neftebaza" in the Kandalaksha Bay water area. 2004-2006]. Letopis prirody Kandalakshskogo zapovednika za 2006 god. Kandalaksha. Kandalakshskiy zapovednik, kn. 52, t. 1, p. 27-37, 2006.
- Leonova G.A., Bobrov V.A.** Geokhimicheskaya rol planktona kontinentalnyih vodoemov Sibiri v kontsentrirrovanii i biosedimentatsii [Geochemical role of plankton continental reservoirs of Siberia in the concentration and biosedimentation]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "GEO", 314 p., 2012.
- Mazuhina S.I.** Formirovanie poverhnostnyih i podzemnyih vod Hibinskogo gornogo massiva [Formation of surface and ground water of the Khibiny massif]. Apatityi, KNTs RAN, 173 p., 2012.

- Mazuhina S.I., Chudnenko K.V., Byichinskiy V.A., Masloboev V.A.** Fiziko-himicheskoe modelirovanie vzaimodeystviya "Neft – prirodnyie vodyi" [Physical-and chemical modeling of the interaction "oil and natural waters"]. Budushee gidrogeologii: sovremennyye tendentsii i perspektivy. SPb., SPbGU, VVM, p. 170-179, 2008.
- Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2012 god [Review of state and contamination of environment in Russian Federation, 2012]. Pod red. Yu.A. Izraelya, M., Rosgidromet, 178 p., 2013.
- Spravka o kachestve poverhnostnyih vod sushi i morskikh vod na territorii deyatelnosti GU "Murmanskoe UGSM" za 2007 god (Murmanskaya oblast, Kandalakshskiy rayon) [Reference book on the quality of surface waters and marine waters on the territory of the state institution Murmansk UGMS 2007 (Murmansk region, Kandalaksha district)]. Pod red. M.N. Zuevoi. Murmansk, Tsentr monitoringa okruzhayushchei sredy, 19 p., 2008.
- Chudnenko K.V.** Termodinamicheskoe modelirovanie v geohimii: teoriya, algoritmyi, programmnoe obespechenie, prilozheniya [Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications]. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "GEO", 287 p., 2010.

Информация об авторах

Макимова Виктория Вячеславовна – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, лаборатория № 24, и.о. мл. науч. сотрудника, e-mail: maximova@inep.ksc.ru

Maximova V.V. – Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, 24 Laboratory, Acting Junior Researcher, e-mail: maximova@inep.ksc.ru

Мазухина Светлана Ивановна – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, канд. хим. наук, зав. лабораторией № 24, e-mail: mazukhina@inep.ksc.ru

Mazukhina S.I. – Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, Cand. of Chem. Sci., Head of 24 Laboratory, e-mail: mazukhina@inep.ksc.ru

Маслобоев Владимир Алексеевич – Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН, директор, д-р техн. наук; профессор кафедры геоэкологии Апатитского филиала МГТУ, e-mail: masloboev@ksc.ru

Masloboev V.A. – Institute of North Industrial Ecology Problems (INEP) KSC RAS, Director, Dr of Tech. Sci.; Professor of Geoecology Department MSTU Apatity Branch, e-mail: masloboev@ksc.ru