

УДК [622.276:504](943.8)

**КРАЙНЕВА Олеся Владимировна**, аспирант кафедры транспорта нефти и газа института нефти и газа Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

**ГУБАЙДУЛЛИН Марсель Галиуллович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор института нефти и газа Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 227 научных публикаций, в т. ч. 8 монографий и 5 учебных пособий

### **ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ВАРАНДЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СЫРОЙ НЕФТИ**

В статье представлены результаты анализа сырых нефтей, приуроченных к разным залежам Варандейского месторождения. Показаны некоторые закономерности изменения физических свойств и химического состава углеводородного сырья в зависимости от условий залегания. Полученные данные использованы для проведения интегральной оценки возможного негативного воздействия нефти на окружающую среду в случае аварийных ситуаций. Выполненное районирование территории месторождения по степени потенциальной опасности добываемого сырья позволяет определить участки технологических линий, где целесообразно усиление мер по снижению вероятности аварийных разливов нефти.

**Ключевые слова:** свойства нефти, методика экспертной оценки потенциального загрязнения, районирование территорий, воздействие сырой нефти на окружающую среду.

Интенсификация технологических процессов при добыче нефти и газа, особенно в новых регионах, обуславливает актуальность вопросов обеспечения экологической и промышленной безопасности. Решение этих вопросов диктует необходимость разработки новых комплексных подходов, прежде всего по предотвращению и снижению негативных последствий для окружающей среды. В дан-

ной работе, на примере Варандейского месторождения рассмотрено применение экспертной оценки потенциального воздействия нефти на окружающую среду с учетом особенностей геологической среды и индивидуального физико-химического состава возможных поллютантов.

Варандейское нефтяное месторождение расположено на территории Ненецкого автономного округа (НАО) Архангельской обла-

сти, в северо-восточной части Большеземельской тундры в непосредственной близости от береговой линии Баренцева моря (рис. 1). Оно приурочено к местности, рельеф которой представляет собой слабо всхолмленную пологоволнистую аккумулятивную равнину с перепадами высот от 0 до 12 м и региональным наклоном рельефа на северо-запад к морю. Значительная часть площади месторождения находится в приливной зоне, где абсолютные отметки не превышают 5 м. Равнина сильно заболочена и покрыта густой сетью рек (Большой и Малый Торавей, Песчанка), ручьев и озер (Песчанка, Ябтаркато, Яботото). Болота труднопроходимые, глубиной 1,0–1,5 м, полностью промерзают в зимнее время. Вода в них также соленая морская, т. к. во время штормовых ветров с моря северная прибрежная часть территории заливается водой в глубь материка на 10–15 км.

Здесь на всех геоморфологических уровнях имеют широкое распространение многолетнемерзлые породы (ММП). При этом толщина ММП колеблется в пределах 50–250 м с глубиной до верхней ее границы 0,5–1,5 м. Территория в районе Варандейского месторождения не входит в зоны действующих и перспективных заповедных территорий и ограниченной хозяйственной деятельности.

Месторождение расположено в пределах Варандей-Адзвинской нефтегазоносной области Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТПНГП). В тектоническом отношении исследуемый район находится в северной части вала Сорокина, который является западным ограничением крупнейшего надпорядкового элемента Печорской синеклизы – Варандей-Адзвинской структурной зоны.

Варандейское месторождение введено в пробную эксплуатацию в 1999 году. В насто-



Рис. 1. Обзорная карта нефтегазоносных и перспективных объектов северо-восточной части НАО

ящее время на месторождении пробурено 43 скважины, в том числе 31 скважина на триасовые отложения и 24 скважины на нижнепермскую залежь.

На месторождении открыто всего четыре нефтяные залежи: основная – в карбонатных отложениях нижней перми ( $P_1$ ) и три залежи

в терригенных отложениях нижнего триаса – пласты харалейской свиты ( $T_{1+2}$ ), чаркабожской свиты ( $T_1^{IV}$ ,  $T_1^{III}$ ,  $T_1^{II}$ ) и чаркабожской свиты ( $T_1^I$ ).

Геологический разрез продуктивных толщ по линии скважин № 2, 5, 10, 13, 108 и 112 изображен на рис. 2, а некоторые геолого-физические характеристики продуктивных пластов и

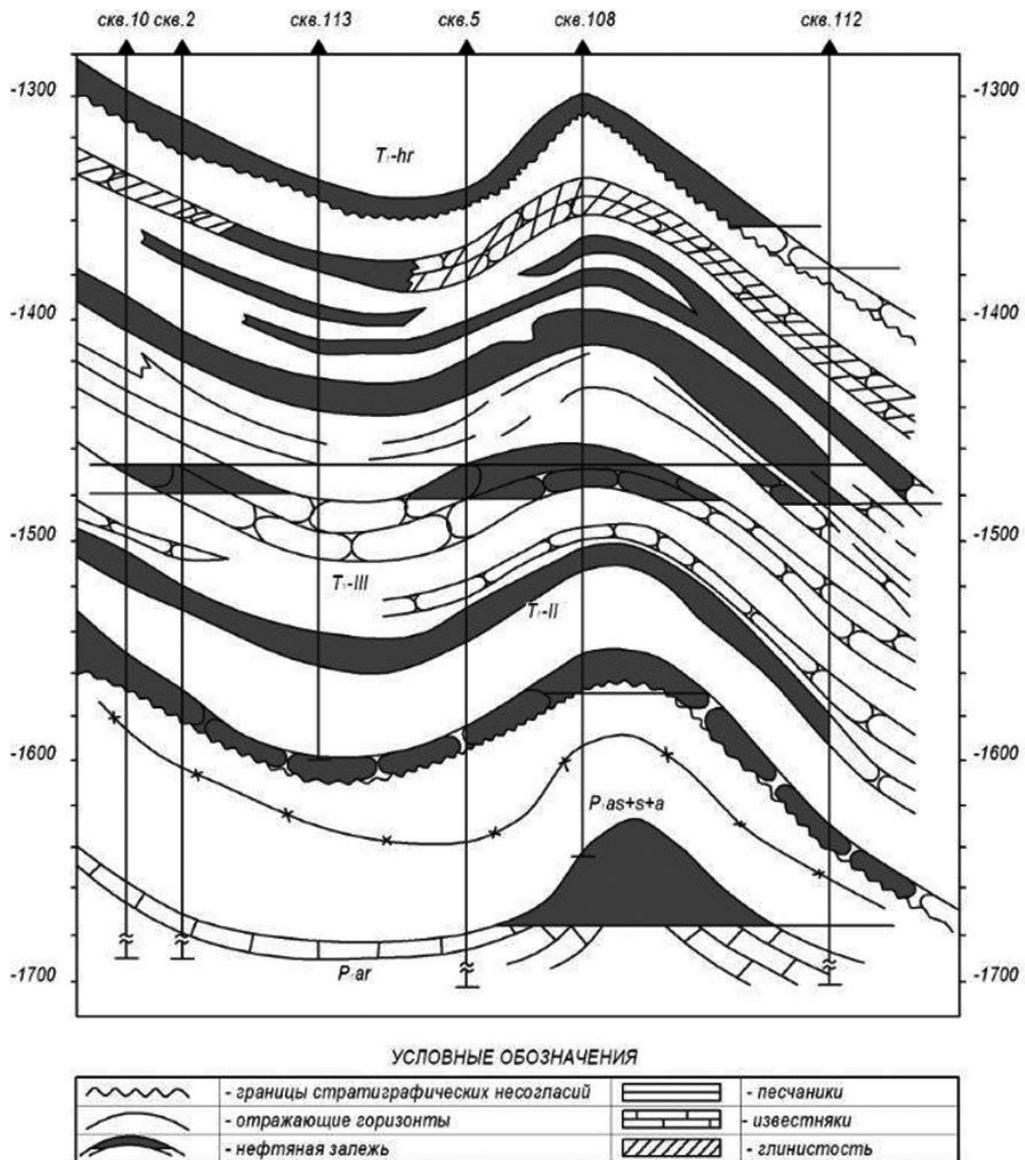


Рис. 2. Геологический разрез продуктивных толщ

физико-химические параметры пластовой продукции приведены в *табл. 1*.

**Залежь нефти «P<sub>1</sub>»** открыта в 1976 году. Нефтяная залежь, установленная в нижнепермских отложениях, массивная, сводовая. Глубина залегания залежи в своде – на абсолютной отметке –1 625 м.

Продуктивные нижнепермские отложения хорошо коррелируются и имеют трехчленное строение: три пачки, различающиеся по литологическому составу и фильтрационно-емкостными свойствами. Представлены органогенными, органогенно-детритовыми и органогенно-обломочными известняками.

Нефть нижнепермской залежи относится к тяжелым (плотность при 20 °С составляет 901,0 кг/м<sup>3</sup>), с повышенной вязкостью (до 60 мм<sup>2</sup>/с), смолистым (до 9,1 %), малопарафинистым (до 1,3 %) и высокосернистым (свыше

2 %). Более подробные данные по физико-химическим свойствам нефти пермской залежи по всему интервалу перфорации приведены в *табл. 2*.

**Залежь нефти «T<sub>1</sub><sup>I</sup>»** приурочена к песчаному пласту чаркабожской свиты, залегающему в подошве нижнетриасовых отложений, и относится к типу пластовых, сводовых, частично литологически ограниченных. Нефть залежи T<sub>1</sub><sup>I</sup> является тяжелой, ее плотность в стандартных условиях изменяется в пределах от 900,3 кг/м<sup>3</sup> до 941,4 кг/м<sup>3</sup>, при среднем значении

**Залежь нефти «T<sub>1</sub><sup>III</sup>»** приурочена к пачке пластов песчаников чаркабожской свиты, неоднородных как по площади, так и по разрезу. Нефть высоковязкая, смолистая: содержание смол 6,99–22,5 % вес, асфальтенов – 9,91 % вес; малопарафинистая: среднее со-

Таблица 1

**НЕКОТОРЫЕ ГЕОЛОГО-ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ ВАРАНДЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Параметры	Ед. изм.	Нижняя пермь		Триасовые отложения			
		P <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	T <sub>1</sub> <sup>II</sup>	T <sub>1</sub> <sup>III</sup>	T <sub>1</sub> <sup>IV</sup>	T <sub>1+2</sub>
Средняя глубина залегания	м	1650	1540	1550	1430	1325	1330
Тип залежи		массивно-пластовая	пластовые сводовые литологически экранированные				пластовая сводовая
Тип коллектора		карбонатный, трещиновато-поровый	терригенный поровый				
Плотность нефти в пластовых условиях	кг/м <sup>3</sup>	864,9	850	863	863	880	904
Плотность нефти в поверхностных условиях	кг/м <sup>3</sup>	901	910	934	909	906,5	987
Содержание серы в нефти	%	2,16	1,78	2,16	2,15	1,93	2,70
Содержание парафина в нефти	%	0,9	0,72	1,07	1,33	0,41	0,93
Содержание сероводорода	%	0,240	отсутствует				

держание парафинов 1,3 % вес, при диапазоне изменений от 0,05 до 5,58 % вес; высокосернистая: содержание серы колеблется в пределах 1,71 – 3,27 % вес при среднем значении 2,2 % вес.

*Залежь нефти «Т<sub>1</sub><sup>IV</sup>»* приурочена к пласту чаркабожской свиты, залегающему в отложениях нижнего триаса. Пласт не выдержан как по площади, так и по разрезу и представлен чередованием песчаников, алевролитов, глинистых алевролитов и глин. Продуктив-

ный пласт Т<sub>1</sub><sup>IV</sup> имеет ограниченное распространение и с северо-востока на юго-запад сначала замещается, а затем полностью выклинивается.

Нефть тяжелая, средняя плотность в стандартных условиях составляет 906,5 кг/м<sup>3</sup>; высоковязкая, при 20 °С не течет; смолистая: содержание смол 6,18–8,27 % вес, принятое значение – 6,18 %; асфальтенов – 5,82 % вес; высокосернистая: содержание серы 1,93 % вес. (табл. 2).

Таблица 2

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЫРЫХ НЕФТЕЙ ЗАЛЕЖЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Зона	№ скв.	Глубина перфорации, м	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с	Смолы, %	Асфальтены, %	Парафины, %	Сера, %	Легкие фракции, %
			20 °С	20 °С					200 °С
P <sub>1</sub> ar/s	1	1743	903,6	49,1	9,07	3,27	1,30	1,93	23
P <sub>1</sub> ar/s	4	1673	907,4	59,6	7,65	4,94	1,14	1,56	17
P <sub>1</sub> ar/s	8	1668	909,3	29,0	8,20	5,09		2,09	17
P <sub>1</sub> ar/s	10	1675	872,2	21,7	6,80	5,52	0,78	2,05	19
P <sub>1</sub> ar/s	3	1670	896,3	28,9	7,14	5,09	1,78	1,85	15
P <sub>1</sub> ar/s	ср.		901,0	37,7	7,77	4,78	1,25	1,90	18
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	101	1558	900,3	35,7	5,13	5,84	0,59	1,26	12
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	108	1540	941,4	492,7	10,91	9,45	1,80	2,53	2
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	110	1544	907,5	46,6	9,18	4,98	0,70	2,68	10
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	110	1614	903,5	41,5	8,43	4,97	0,62	2,77	18
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	111	1570	908,7	82,7	6,35	5,36	0,87	1,26	6
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	111	1630	904,4	61,7	7,71	4,63	0,85	2,48	8
T <sub>1</sub> <sup>I</sup>	ср.		911,0	126,8	7,95	5,87	0,91	2,16	9
T <sub>1</sub> <sup>II</sup>		1600	934,0	–	13,46	5,79	1,07	2,16	–
T <sub>1</sub> <sup>III</sup>		1480	909	–	11,29	9,91	1,33	2,15	–
T <sub>1</sub> <sup>IV</sup>		1340	906,5	не течет	6,18	5,82	0,41	1,93	–
T <sub>1+2</sub>		1390	987,0	–	16,74	9,59	0,93	2,70	–

**Залежь нефти « $T_{1+2}$ »** приурочена к пласту песчаников харалейской свиты нижнего триаса. Пласт  $T_{1+2}$  имеет хорошие корреляционные характеристики и в пределах месторождения развит повсеместно.

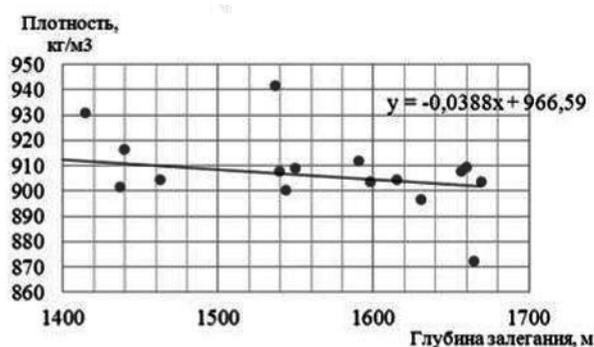
Нефть тяжелая, плотность в стандартных условиях изменяется от 985,3 кг/м<sup>3</sup> до 997 кг/м<sup>3</sup>; высоковязкая, высокосмолистая: содержание смол 10,4–27,2 % вес, среднее значение – 16,74 %, асфальтенов – 9,59 % вес; малопарафинистая: среднее содержание парафинов 0,9 % вес, при диапазоне изменений от 0,13 до 2,38 % вес; высокосернистая: содержание серы колеблется в пределах 2,19–2,96 % вес при среднем значении 2,7 % вес.

Нефти триасовых отложений содержат значительные количества ванадия, железа и никеля, концентрация которых подчиняются следующей закономерности  $Fe > V > Ni$ . Преобладание железа типично для триасовой нефти. Высокое содержание металлов, с одной стороны, создает проблемы при переработке нефти, так как ухудшает действие катализаторов. С другой стороны, некондиционные (непромышленные) содержания металлов не позволяют рассматривать нефти месторождения в качестве сырья для их извлечения.

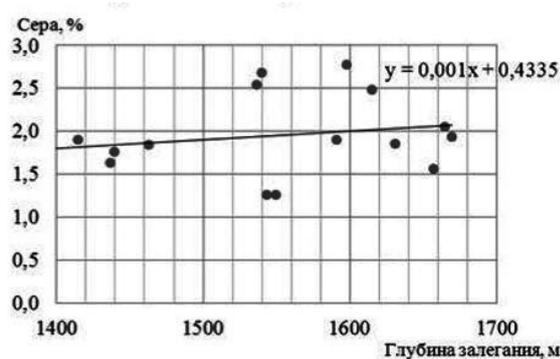
При анализе физико-химических свойств нефти месторождения по всему разрезу про-

дуктивных пластов выявлены некоторые закономерности изменения состава и свойств нефти как в зависимости от глубины залегания, так и количества содержащихся в них компонентов. С уменьшением глубины залегания плотность нефти увеличивается (рис. 3 а). Например, на глубинах 1743-1631 м, приуроченных к артинскому и сакмарскому ярусам пермской системы, средняя плотность образцов составляет 897,8 кг/м<sup>3</sup>, а уже в триасовых отложениях на глубине 1 500 м средняя плотность нефти достигает 910,0 кг/м<sup>3</sup>. С возрастанием глубины уменьшается содержание серы. Так, для нефтей, приуроченных к тем же пермским отложениям, среднее значение серы по массовой доле составляет 1,90 %, а в триасовых отложениях – 2,16 % (рис. 3 б). Содержание твердого парафина с увеличением глубины залегания нефти также возрастает, так в пермских отложениях оно составляет 1,25 %, а в триасовых – 0,91 %.

Суммируя выявленные закономерности, можно сделать вывод о том, что нефти, расположенные на меньших глубинах и не подвергшиеся стадиям активного катагенеза, являются более тяжелыми с повышенным содержанием серы. С увеличением глубины и переходом отложений в иные термодинамические условия происходит накопление жидких и газообразных углеводородов, соответственно плотность



а



б

**Рис. 3.** Графики зависимости некоторых физико-химических параметров нефти Варандейского месторождения: а – изменение плотности нефти с увеличением глубины залегания; б – изменение содержания серы в нефти с увеличением глубины залегания

нефти уменьшается. Кроме того происходит потеря гетероэлементов (в том числе серы) и уменьшается количество смолисто-асфальтовых веществ [1].

Исходя из геолого-физической характеристики месторождения, а также на основании анализа физико-химических показателей образцов нефти, отобранных на разных глубинах и в различных продуктивных залежах, можно сделать вывод, что свойства нефти Варандейского месторождения изменяется в достаточно широком диапазоне. Так, например, вязкость в продуктивном пласте  $T_1^1$ , вскрытом в интервале от 1 532 до 1 630 м варьирует в пределах от 35,7 мм<sup>2</sup>/с до 492,7 мм<sup>2</sup>/с, а разница в плотности нефти в рассматриваемом диапазоне по некоторым образцам превышает 40 кг/м<sup>3</sup>, изменяясь в пределах от 900,3 до 941,4 кг/м<sup>3</sup>. Содержание серы, смол, асфальтенов, а также легких фракций, выкипающих до 200 °С, также изменяется в широком диапазоне. Следовательно, с точки зрения воздействия компонентов нефти на окружающую среду, с учетом совокупности сложных климатических условий и гидрологических режимов, уязвимой природной среды и непосредственной близостью береговой линии Баренцева моря возможный негативный уровень воздействия добываемого флюида при возникновении аварийных ситуаций будет различаться.

С целью изучения степени воздействия на ОС рассмотренных видов нефтей и прогнозирования возможных форм техногенного преобразования местных природных комплексов при аварийных разливах проведем оценку опасности скважинной продукции Варандейского месторождения с применением методики, изложенной в работах [2, 3]. Суть методики заключается в интегральной балльной оценке степени потенциального воздействия на ОС комплекса параметров нефти, таких как плотность, вязкость, содержание легких фракций, массовой доли парафина, содержание смолисто-асфальтовых веществ (САВ), серы и сероводорода с учетом граничных значений, принятых в ГОСТ Р 51858 – 2002 «Нефть. Общие технические условия». Разработанная система балльной оценки приведена в *табл. 3*.

На основании приведенных суммарных балльных оценок можно выделить 3 уровня потенциальной опасности УВ [3]:

- незначительный уровень (9–10 баллов включительно);
- средний уровень (10–12 баллов включительно);
- высокий уровень (более 12 баллов).

С использованием полученных баллов и предложенного ранжирования выполнено районирование территории промысла для выявления наиболее уязвимых участков природ-

Таблица 3

БАЛЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПО [3]

Параметр	Балл			
	0	1	2	3
Плотность (при 20С), кг/м <sup>3</sup>	<850	850,0...870,0	870,1...895,0	>895
Q <sub>лф</sub> (до 200С), %	<15	15,01...18	18,01...21	>21
Вязкость (при 20С), мм <sup>2</sup> /с	<5	5...10	10...30	>30
Массовая доля парафина, %		<1,5	1,5...6	>6
Содержание САВ, %		<10	10...20	>20
Массовая доля серы, %		0,61...1,8	1,81...3,5	>3,5
Содержание сероводорода	Отсутствует	Присутствует		

ной среды, с точки зрения экологической опасности, а также звеньев технологической схемы, требующих повышенного внимания для обеспечения безопасности технологического процесса и снижения уровня экологических опасности, что может увеличить эффективность составления планов ликвидации аварийных разливов нефти, а также при разработке программ производственного экологического мониторинга.

В табл. 4 представлены результаты оценки устьевых проб нефти Варандейского месторождения с применением описанной выше методики по состоянию на 2012 год.

месторождении скважин представляет собой сильный поллютант, обладающий характеристиками, близкими к критическим по степени воздействия на ОС.

На рис. 4 показана карта районирования потенциальной опасности воздействия на ОС продукции скважинного фонда Варандейского месторождения. Как видно из рисунка, источниками, содержащими наиболее негативно воздействующие углеводороды являются скважины № № 11, 13 и 1005.

Таким образом, применение комплексного подхода к изучению физико-химического состава добываемой нефти в рамках пред-

Таблица 4

**БАЛЛЬНАЯ ОЦЕНКА НЕФТИ КАК ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ФАКТОРА  
НА ОСНОВАНИИ ЕЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА**

Параметры оценки	№ скважины							
	3	9	10	11	13	1001	1003	1005
Плотность нефти при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	899,1	912,3	895,9	904,7	901,9	906,8	905,7	897,4
Вязкость нефти при 20°C, мм <sup>2</sup> /с	29,12	23,03	25,41	33,72	30,31	30,82	37,17	24,91
Содержание САВ, %	21,9	19,5	19,5	21,7	20,6	19,6	22,2	27,0
Содержание парафинов, %	0,58	1,01	0,43	0,67	0,46	1,66	1,33	1,92
Содержание серы S, % (*) <sup>1</sup>	*	1,55	*	*	*	2,11	1,59	*
Выход легких фракций (до 200°C) Q <sub>лф</sub> , % (**) <sup>1</sup>	17,6	17,6	18,2	16,5	17,6	13,1**	11,8**	16,7
Итого (суммарная оценка)	12	10	12	13	13	12	11	13

Примечание: <sup>1</sup> – для оценки принято среднее по месторождению значение (2,05 %).

Как видно из табл. 4 суммарный оценочный показатель экологической опасности сырья является достаточно высоким и, с экологической точки зрения, нефть из большинства эксплуатируемых в настоящее время на

лагаемой методики позволяет на различных этапах разработки месторождения оценивать особенности качественного состава и физических свойств нефти как загрязняющего фактора, что, в свою очередь, может и долж-

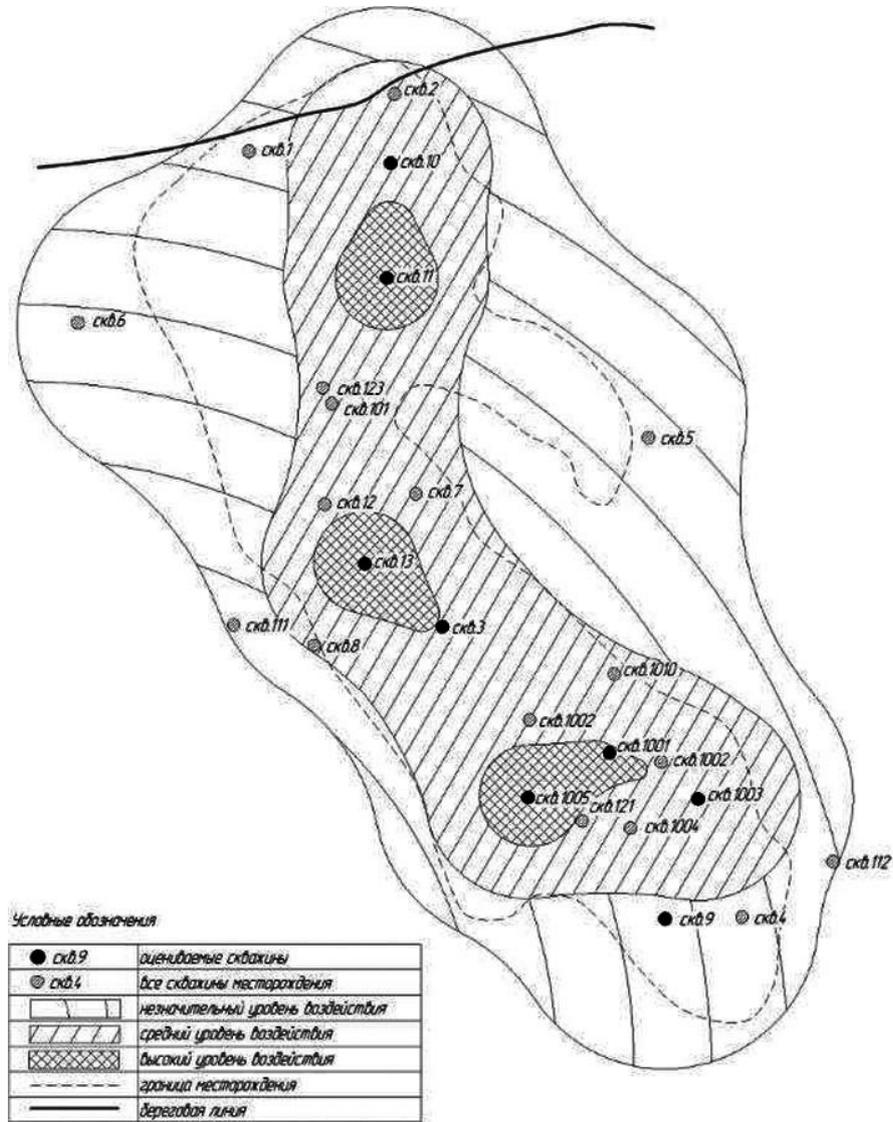


Рис. 4. Карта районирования Варандейского месторождения на основе интегральной оценки возможного загрязнения окружающей среды с учетом состава нефтей

но учитываться при составлении технико-экономических обоснований по освоению и разработке нефтяных месторождений, при

разработке планов ликвидации аварийных разливов нефти (ПЛАРН) и мероприятий по охране окружающей среды.

### Список литературы

1. Геология и геохимия нефти и газа / А.А. Бакиров, З.А. Табасаранский, М.В. Бордовская, А.К. Мальцева. М., 1982.
2. Губайдуллин М.Г., Иванов Р.С. Интегральная оценка воздействия нефтей на окружающую среду с учетом их компонентного состава // Вестн. Поморского ун-та. Сер.: «Ест. и точные науки». 2007. № 1 (11). С. 5–12.
3. Губайдуллин М.Г., Иванов Р.С. Методика интегральной оценки физико-химических свойств нефти как загрязняющего фактора окружающей среды // Вестник АГТУ. Сер.: «Прикладная геоэкология». 2006. № 66. С. 22–39.

### References

1. Bakirov A.A., Tabasaranskiy Z.A., Bordovskaya M.V., Mal'tseva A.K. *Geologiya i geokhimiya nefi i gaza* [Geology and Geochemistry of Oil and Gas]. Moscow, 1982.
2. Gubaydullin M.G., Ivanov R.S. Integral'naya otsenka vozdeystviya nefey na okruzhayushchuyu sredu s uchetom ikh komponentnogo sostava [Integrated Estimation of the Oil Influence on the Environment with Account of Its Component Structure]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Ser.: Estestvennye i tochnye nauki*, 2007, no. 1 (11), pp. 5–12.
3. Gubaydullin M.G., Ivanov R.S. *Metodika integral'noy otsenki fiziko-khimicheskikh svoystv nefi kak zagryaznyayushchego faktora okruzhayushchey sredy* [Methods of Integrated Assessment of Physico-Chemical Properties of Oil as a Pollutant Factor]. *Vestnik AGTU. Ser.: Prikladnaya geoekologiya*, 2006, iss. 66, pp. 22–39.

***Krayneva Olesya Vladimirovna***

Postgraduate Student,  
Institute of Oil and Gas, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

***Gubaydullin Marsel Galiullovich***

Institute of Oil and Gas, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

## **GEOLOGICAL AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF PRODUCTIVE LAYERS OF THE VARANDEY FIELD AND ASSESSMENT OF POTENTIAL ENVIRONMENTAL HAZARDS OF CRUDE OIL**

The article presents the results of the analysis of crude oils confined to various deposits of the Varandey field. Some regularities of the changes in physical properties and chemical composition of raw hydrocarbon depending on the mode of occurrence are shown. The data obtained was used for an integrated assessment of a possible negative impact of oil on the environment in case of emergencies. The performed zoning of the field's territory allows us to detect processing train sections requiring extra measures to reduce the risk of oil spills.

**Keywords:** *oil properties, technique of expert assessment of potential pollution, zoning, impact of crude oil on the environment.*

*Контактная информация:*

Крайнева Олеся Владимировна  
*Адрес:* 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 14  
*e-mail:* olesya-drong@yandex.ru

Губайдуллин Марсель Галиуллович  
*Адрес:* 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 14  
*e-mail:* m.gubaidulin@narfu.ru

Рецензент – Малов А.И., доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск)