

А. В. Рулло (асп.)¹, А. Д. Бадикова (д.т.н., проф., зав.каф.)¹,
Р. И. Аблеев (к.х.н., доц., гл.уч.секр.)², Р. Х. Масагутов (чл.-корр. АН РБ, д. геол.-мин.н., проф.)²,
Н. А. Бейгул (к.х.н., доц., с.н.с.)³, О. П. Журкин (к.т.н, доц.)¹, Д. И. Бежан (к.х.н., доц.)¹

УГЛЕРОДНЫЙ АДсорбЕНТ В СОСТАВЕ МОДУЛЬ-СОРБЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАССИВНОЙ АДСОРБЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ МОДЕЛИ НЕФТИ БАКЛАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

¹ Уфимский государственный нефтяной технический университет, кафедра физической и органической химии
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1, тел. (347)2420855, e-mail: rullo_anton@mail.ru

² Академия наук Республики Башкортостан, г. Уфа, ул. Кирова, 15, тел. (347) 2728061, e-mail:
2728061an@mail.ru

³ Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека,
отдела гигиены и физиологии труда
450106, г. Уфа, ул. Степана Кувыкина, 94, тел. (347) 2551957, e-mail: fbun@uniimtech.ru

A. V. Rullo¹, A. D. Badikova¹, R. I. Ableev², R. Kh. Masagutov²,
N. A. Beigul³, O. P. Zhurkin¹, D. I. Bezhan¹

THE CARBON ADSORBENT IN THE COMPOSITION OF THE MODULE-SORBER FOR THE STUDY OF PASSIVE ADSORPTION OF HYDROCARBONS FROM THE MODEL OF OIL OF THE BAKLANOVO DEPOSIT

¹ Ufa State Petroleum Technological University
1, Kosmonavtov Str., 450062, Ufa, Russia, ph. (347)2420855, e-mail: rullo_anton@mail.ru

² Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan
15, Kirova Str., 450008, Ufa, Russia, ph. (347) 2728061, e-mail: 2728061an@mail.ru

³ Ufa research Institute of occupational medicine and human ecology
94, Stepana Kuvykina Str., 450106, Russia, ph. (347) 2551957, e-mail: fbun@uniimtech.ru

Совершенствование технологий прямых геохимических методов поиска углеводородов является перспективным направлением развития поисковых работ на нефть и газ. Применение различных адсорбентов в составе модуль-сорберов является актуальным направлением для извлечения углеводородов из газо-воздушной смеси, с целью их дальнейшего анализа методом газовой хромато-масс-спектрометрии с предварительной термодесорбцией для использования в реальных геохимических съемках при поиске нефти и газа. Методом хромато-масс-спектрометрии с предварительной термодесорбцией исследован количественный состав углеводородов из модели нефти Баклановского месторождения. Наибольшая величина адсорбции наблюдалась для углеводородов C₅–C₁₂.

Ключевые слова: газовая хромато-масс-спектрометрия; геохимическая съемка; модуль-сорбер; пассивная адсорбция; термодесорбция; углеродный адсорбент.

Improving the technology of direct geochemical methods for the search for hydrocarbons. The use of various adsorbents in the composition of the module is an actual direction for the extraction of hydrocarbons from a gas-air mixture for the purpose of their analysis by gas chromatography-mass spectrometry with preliminary thermal desorption for use in real geochemical surveys when searching for oil and gas. The method of gas chromatography-mass spectrometry with preliminary thermal desorption was used to study the quantitative composition of hydrocarbons in the oil model of the Baklanovo deposit. The highest adsorption was observed for hydrocarbons C₅–C₁₂.

Key words: carbon adsorbent; gas chromatography-mass spectrometry; geochemical survey; module-sorber; passive adsorption; thermal desorption.

Дата поступления 12.10.19

Работа выполнялась при финансовой поддержке Гранта Республики Башкортостан молодым ученым (Договор №22ГР)

The work was carried out with the financial support of the Grant of the Republic of Bashkortostan to young scientists (Contract No.22GR)

В настоящее время необходимость применения геохимической информации при поиске месторождений нефти и газа возрастает.

Геофизические методы поисков нефти и газа — как сейсмические (метод общей глубинной точки), так и без использования сейсмики, применяются довольно часто, но они не позволяют с высокой достоверностью дать прогноз о наличии/отсутствии залежей углеводородов ¹.

Среди геохимических методов поиска залежей нефти и газа известен метод пассивной адсорбции углеводородов почвенно-грунтовых газов с применением специальных модуль-сорберов ^{2,3}. Геохимические методы поиска углеводородов (УВ) относятся к категории прямых поисковых методов, основу таких методов поиска нефти и газа составляют исследования прямых и косвенных признаков нефтегазоносности, то есть ореолов рассеяния вокруг залежей нефти и газа ^{3–5}. Модуль-сорберы не требуют присутствия человека, их достаточно разместить в почвогрунте на некоторое время.

Как известно, нефть содержит порядка 500 углеводородных соединений — парафиновых (более 50%), нафтеновых (10–50 %) и ароматических (20–40 %), также зачастую нефть характеризуется значительным содержанием твердых углеводородов ^{6–11}.

Как правило, для адсорбции углеводородов из нефти и нефтепродуктов применяют углеродные и полимерные адсорбенты. Для адсорбирования летучих УВ обычно используется Carboxen 1000, для адсорбирования *n*- и *изо*-алканов — Carbograph-4TD, и для адсорбирования тяжелых УВ — Tenax-TA (табл. 1) ^{3,9}.

Таблица 1
Характеристики углеродных и полимерных адсорбентов

Адсорбент	Состав	$S_{уд}$, м ² /г	T , °C
Carbograph-4TD	графитированная сажа	100	>400
Tenax-TA	поли(2,6-дифенил-фениленоксид)	35	350

Например, при использовании полимерного адсорбента Tenax-TA для пассивной адсорбции модельной смеси УВ адсорбатов были получены следующие результаты: величины адсорбции для тяжелых УВ составили от 6.15 мкг/г для C₁₅ (пентадекан) до 6.60 мкг/г для C₁₈ (октадекан) (табл. 2) ⁹.

Удельная поверхность Tenax-TA сравнительно невелика (35 м²/г), однако основными преимуществами перед остальными полимерными адсорбентами являются его высокая термическая стабильность (350 °C) и низкий уровень шумов при термодесорбции.

Представленные на рынке адсорбенты, как правило, предназначены для решения аналитических задач лишь узкого диапазона УВ соединений. Однако геохимическая оценка обуславливает необходимость адсорбции углеводородных соединений от C₅ до C₂₀, их десорбции с поверхности адсорбента и последующей идентификации методом газовой хромато-масс-спектрометрии, поэтому поиск состава адсорбента (в том числе комбинированного) для осуществления геохимической съемки является актуальной задачей.

Целью данной работы являлось сравнение изученных нами ранее ⁹ адсорбционных свойств полимерного адсорбента Tenax-TA с показателями углеродного адсорбента Carbograph-4TD в составе модуль-сорберов с применением в качестве адсорбата модельной смеси, а также углеводородов из высоковязкой нефти Баклановского месторождения.

Материалы и методы исследования

В качестве адсорбатов выбраны соединения, выступающие в качестве признаков нефтегазоносности пласта: *n*-алканы, изоалканы, ароматические углеводороды, а также углеводороды из высоковязкой нефти Баклановского месторождения. Выбор адсорбатов обусловлен реперными соединениями, характерными для газо-воздушной смеси почвогрунта вблизи продуктивной скважины ¹¹.

Смоделировали условия пассивной адсорбции газо-воздушной смеси, полученной из модельных углеводородных адсорбатов в герметичной камере объемом 1.5 л в статических условиях. Следует отметить, что при изучении адсорбции из модельной смеси, условно считали модельную смесь в объеме герметичной камеры в условии равновесия системы. Адсорбцию рассматривали в виде разности концентрации исходного адсорбата и концентрации его десорбированного количества, отнесенной к массе адсорбента.

Оценка адсорбции на углеродном адсорбенте проводилась методом газовой хромато-

Результаты пассивной адсорбции модельной смеси УВ адсорбатов на полимерном адсорбенте Терах-ТА

Адсорбат	Время удерживания, t_R , мин	$C_{исх},^*$ мкг/мкл	$C_d,^{**}$ мкг/мкл	$\alpha,^{***}$ мкг/г
изопентан	7.20±0.04	5.06	2.53	12.65
1-пентен	7.54±0.02	4.36	2.23	11.15
<i>n</i> -пентан	7.73±0.02	4.29	2.13	10.65
1-гексен	10.20±0.01	4.64	2.32	11.60
<i>n</i> -гексан	10.46±0.02	4.50	2.25	11.25
метилциклопентан	11.57±0.03	5.11	2.55	12.75
бензол	12.73±0.05	5.76	3.00	15.00
<i>n</i> -гептан	13.70±0.05	4.66	2.33	11.65
метилциклогексан	14.83±0.04	5.25	2.33	11.65
толуол	16.23±0.05	5.86	2.93	14.65
октан	16.93±0.07	4.79	2.39	11.95
этилбензол	19.22±0.07	5.74	2.94	14.70
<i>m</i> -ксилол, <i>p</i> -ксилол	19.45±0.08	5.88	5.87	29.35
нонан	19.92±0.05	4.89	2.45	12.25
<i>o</i> -ксилол	20.24±0.09	6.00	3.00	15.00
пропилбензол	21.90±0.09	5.86	2.93	14.65
ундекан	22.64±0.09	5.04	2.52	12.60
бутилбензол	24.61±0.08	5.88	2.94	14.70
додекан	27.43±0.08	4.64	2.32	11.60
нафталин	28.35±0.04	2.38	1.19	5.95
тридекан	29.56±0.05	4.66	3.33	10.65
метилнафталин	31.20±0.05	6.64	3.32	10.60
тетрадекан	31.54±0.01	5.00	2.50	5.50
пентадекан	33.38±0.01	4.86	2.43	6.15
гептадекан	33.40±0.02	4.66	2.49	6.45
октадекан	38.39±0.01	2.63	1.32	6.60
нонадекан	39.99±0.02	2.52	1.26	6.30

* — концентрация исходных адсорбатов, мкг/мкл;

** — количественная концентрация десорбированного адсорбата, мкг/мкл;

*** — адсорбция, мкг/г.

масс-спектрометрии на приборе SHIMADZU GCMS-QP2020 с применением термодесорбера Markes Unity2 с фокусирующей трубкой, охлаждаемой до (–10) °С.

Разделение компонентов осуществлялось на капиллярной колонке Rtx-5MS 60 м × 0.25 мм × 1.0 мкм. В качестве газа-носителя использовали гелий. Скорость потока составляла 1.3 мл/мин. Температура термостата колонки программировалась по следующей программе: 40 °С в течение 3 мин, затем подъем температуры со скоростью 8 °С/мин до 310 °С. Параметры масс-спектрального детектора: температура источника ионов 200 °С, напряжение детектора 0.88 kV, максимальная температура интерфейса 200 °С.

Обсуждение результатов

Исследование пассивной адсорбции различных моделей УВ проведено на углеродном адсорбенте Carbograph-4TD. Углеводородный состав обеспечивался двумя пробами — модель УВ адсорбатов (27 углеводородов) и модель нефти Баклановского месторождения. Результаты эксперимента приведены в табл. 3.

Экспериментально показано, что в результате пассивной адсорбции УВ на углеродном адсорбенте Carbograph-4TD из модели УВ адсорбатов удалось адсорбировать и десорбировать все УВ соединения. Наибольшая величина адсорбции наблюдается у углеводородов C_5 – C_{12} до 42.15 мкг/г, наименьшая у углеводородов C_{15} – C_{19} до 0.15 мкг/г. Результаты иллюстрируются масс-спектром (рис. 1).

Из полученных данных очевидно, что более избирательно из газо-воздушной смеси адсорбируются углеводороды с числом атомов углерода C_5 – C_{12} . Тем не менее, основываясь на том обстоятельстве, что в реальных полевых условиях адсорбаты, являющиеся типичными признаками присутствия нефти и газа для нефтяных месторождений, характеризуются более широким диапазоном углеводородов, чем калибровочная смесь, для обеспечения условий, приближенных к реальной геохимической съемке, был проведен эксперимент по методике пассивной адсорбции с использованием в качестве модели — высоковязкой нефти Баклановского месторождения. Эксперимент проводили в герметичной камере, время экспозиции 5 мин. Результаты приведены в табл. 4.

Результаты исследования пассивной адсорбции модельной смеси адсорбатов на углеродном адсорбенте Carbograph-4TD

Адсорбат	Время удерживания, t_R , мин	$C_{исх}$, мкг/мл	C_d , мкг/мл	α , мкг/г
изопентан	0.31±0,04	1.55	1.12	2.15
изогексан	3.68±0,09	4.80	2.65	10.75
пентан	1.87±0,08	5.15	3.30	19.25
1-гексен	0.96±0,06	5.55	2.47	15.40
гексан	0.47±0,01	5.70	2.11	17.95
метилциклопентан	0.54±0,01	6.10	2.63	17.35
бензол	0.65±0,01	6.20	2.54	18.30
гептан	0.35±0,01	3.14	3.66	2.60
метилциклогексан	0.29±0,01	10.35	3.54	34.05
толуол	0.88±0,02	8.00	2.49	27.55
октан	1.38±0,02	9.05	3.10	29.75
этилбензол	0.99±0,03	9.55	3.74	29.05
м,п-ксилол	2.45±0,09	3.11	3.52	2.05
нонан	0.96±0,06	8.50	3.61	24.45
о-ксилол	1.03±0,02	9.75	3.48	31.35
пропилбензол	1.11±0,02	4.80	1.44	10.65
ундекан	1.14±0,02	2.35	1.39	42.15
бутилбензол	1.22±0,02	2.70	1.14	1.15
додекан	1.24±0,02	11.05	3.52	37.65
нафталин	0.26±0,01	1.75	1.54	21.05
тридекан	2.07±0,08	1.45	1.22	16.90
метилнафталин	1.60±0,04	4.40	1.75	12.25
тетрадекан	1.81±0,07	6.90	2.69	1.05
пентадекан	1.91±0,08	1.57	4.95	16.90
гептадекан	2.21±0,09	3.05	3.82	3.85
октадекан	1.70±0,06	3.51	4.22	3.55
нонадекан	1.95±0,07	1.30	1.33	0.15

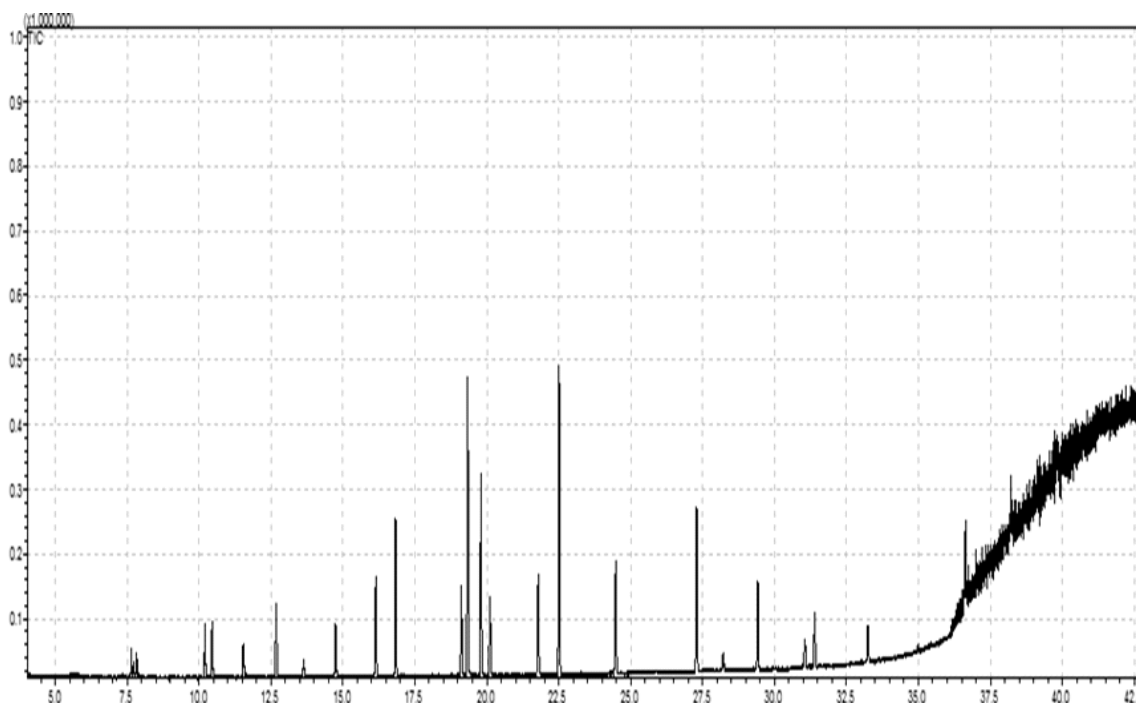


Рис. 1. Масс-спектр модельной смеси (V=1.0 мл) на углеродном адсорбенте Carbograph-4TD

Результаты исследования процесса пассивной адсорбции модели нефти Баклановского месторождения на углеродном адсорбенте Carbograph-4TD

Адсорбат	Время удерживания, t_R , мин	Площадь пика, %
изопентан	5.68±0,02	0.51
2-этилгексаль	6.07±0,01	4.25
2,3-диметилбутан	7.51±0,01	0.78
2-метилпентан	7.57±0,01	0.46
изогексан	7.96±0,03	0.44
гексан	8.39±0,03	0.61
2,2-диметилгептан	9.06±0,03	0.54
2,4-диметилпентан	9.21±0,02	0.43
метилциклопентан	9.34±0,02	0.23
2-метилгексан	10.36±0,06	2.12
циклогексан	10.44±0,03	0.28
2,3-диметилпентан	10.48±0,02	0.52
3-метилгексан	10.65±0,08	0.90
1,1-диметилциклопентан	10.73±0,02	1.83
1,3-диметилциклопентан	11.04±0,02	0.51
1,2-диметилциклопентан	11.14±0,08	0.36
изопропилциклобутан	11.21±0,08	1.13
гептан	11.38±0,02	0.55
2,2-диметилгексан	12.06±0,08	1.81
метилциклогексан	12.35±0,04	0.49
2,4-диметилгексан	12.44±0,08	0.45
этилциклопентан	12.64±0,04	0.39
цис-1,2,3-триметилциклопентан	12.80±0,08	0.56
1-октен	13.05±0,03	0.53
2,3-диметилгексан	13.31±0,03	1.20
2-метилгептан	13.41±0,03	0.45
2,6-диметилгептан	13.48±0,06	0.92
толуол	13.66±0,06	1.18
3-этилгексан	13.74±0,03	1.00
цис-4-триметилциклопентан	13.91±0,02	0.39
транс-1,2-диметилциклогексан	14.08±0,04	0.65
транс-1-этил-3-метилциклопентан	14.32±0,04	0.55
октан	14.39±0,04	0.72
цис-1,4-диметилциклогексан	14.58±0,03	1.18
1-децен	14.68±0,04	1.11
изопропилциклопентан	14.92±0,03	0.64
2,6-диметилпентан	15.09±0,04	0.68
2,5-диметилпентан	15.15±0,04	0.77
пропилциклопентан	15.33±0,03	3.67
этилциклогексан	15.38±0,06	0.83
3-этилгептан	15.46±0,06	0.55
м-ксилол, л-ксилол	15.56±0,06	0.84
2-циклогексилбутан	15.66±0,06	0.67
цис-1,2,3-триметилциклогексан	15.80±0,06	0.56
транс-1,2-диэтилциклопентан	15.92±0,04	0.90
2,6-диметил-2-октен	16.15±0,06	0.47
1-этил-4-метилциклогексан	16.57±0,07	1.00
1,2,4-триметилциклогексан	16.63±0,04	0.86
1,2-диметилциклооктан	16.87±0,04	0.76
3,5,5-триметилгексен	16.95±0,08	2.15
метилциклогептан	17.05±0,04	1.00
3-бутилциклогексан	17.20±0,04	1.11
4-метилдекан	17.34±0,08	0.79
бутилциклогексан	17.42±0,07	0.79
1,2-дибутилциклопропан	17.61±0,07	1.08
1-октанол	17.94±0,06	0.52
1,1,3-триметилциклогексан	18.10±0,06	0.51
2-изопропил-5-метил-1-гептанол	18.17±0,07	5.95
пентилциклогексан	18.31±0,08	1.15
2-метилнафталин	18.58±0,08	0.94
1,3-циклопентадиен	18.74±0,08	0.83
нафталин	19.01±0,08	0.57
1-метилнафталин	19.20±0,02	2.40
тридекан	19.67±0,02	20.99
гексадекан	19.43±0,02	0.52

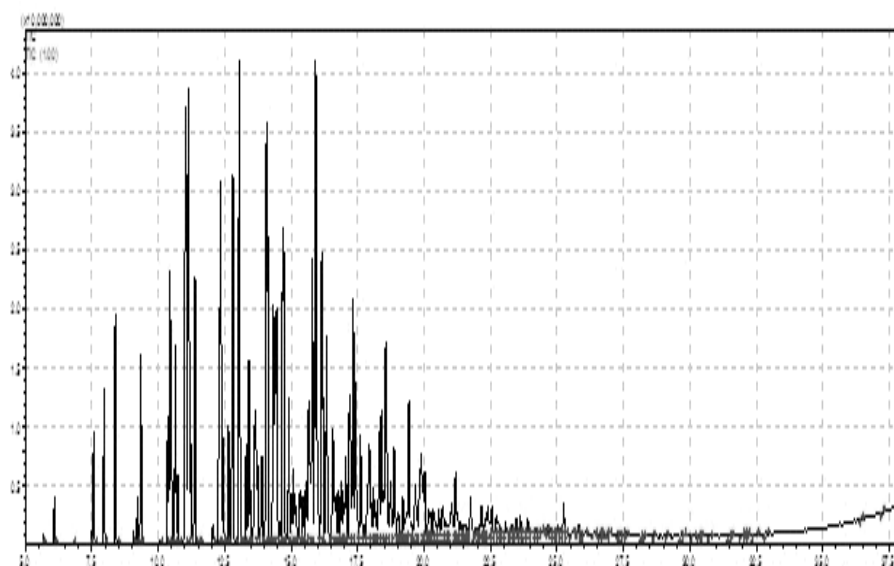


Рис. 2. Масс-спектр модели нефти Баклановского месторождения

В результате исследования пассивной адсорбции углеводородов из модели высоковязкой нефти Баклановского месторождения удалось идентифицировать до 70 соединений (рис. 2).

В масс-спектре наблюдались пики большей интенсивности для углеводородов средней части от C_5 до C_{12} и меньшей — для тяжелой части углеводородных соединений. Масс-спектр характеризуется наличием реперных соединений: 1,2-диметилциклопентана, 2-метилгексана, циклогексана, метилциклопентана, изопентана, гептана, 1-октена, транс-1,2-диметилциклогексана, цис-1,4-диметилциклогексана, 4-метилгептана, тридекана, гексадекана ¹¹.

Таким образом, при пассивной адсорбции углеводородов на углеродном адсорбенте Carbograph-4TD в составе модуль-сорбера более избирательно из модельной смеси адсорбатов адсорбируются углеводороды C_5 – C_{12} , величины адсорбции варьируют для УВ C_5 – C_{12} до 42.15 мкг/г, а на полимерном адсорбенте Тенах-ТА величины адсорбции для тяжелых УВ составили от 6.15 мкг/г для C_{15} (пентадекан) до 6.60 мкг/г для C_{18} (октадекан) (табл. 2) ⁹, что является приемлемым для геохимической оценки нефтегазоносности недр. Эти выводы также были подтверждены лабораторным экспериментом с использованием в качестве адсорбата модели высоковязкой нефти Баклановского месторождения.

Литература

1. Черепанов В. В., Меньшиков С. Н., Варягов С. А., Брыжин А. А., Бондарев В. Л., Гудзенко В. Т., Миротворский М. Ю. Выбор информативных критериев при поисках месторождений газа, газоконденсата и нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2012, №11. — С.20-30.
2. Паняк С. Г., Герман В. В. Новая методика поисков мелких и средних месторождений углеводородов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. — 2010. — №3. — С.4-8.
3. Gallego E. Comparative of the adsorption performance of a multi-sorbent bed (Carbotrap, Carbopack X, Carboxen 569) and a Tenax TA adsorbent tube for the analysis of Volatile Organic Compounds (VOCs) // Talanta. — 2010. — V.81, №3. — Pp.916-924.
4. Супруненко О.И., Тугарова М.А. Геохимия нафтидов. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2002. — С.24-35.
5. Онучак Л.А., Лапшин С.В., Кудряшов С.Ю., Аكوпова О.Б. Адсорбция органических соеди-

References

1. Cherepanov V.V., Menshikov S.N., Varyagov S.A., Bryzhin A.A., Bondarev V.L., Gudzenko V.T., Mirotvorsky M.Yu. *Vybor informativnykh kriteriyev pri poiskakh mestorozhdeniy gaza, gazokondensata i nefti* [Choice of informative criteria while prospecting for gas, gas-condensate and oil fields]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Geology, Geophysics and Oil and Gas Field Development], 2012, no.11, pp.20-30.
2. Panyak S.G., German V.I. *Novaya metodika poiskov melkikh i srednikh mestorozhdeniy uglevodorodov* [The new method for prospecting small and medium-size hydrocarbon fields]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz* [News of higher educational institutions. Oil and gas], 2010, no.3, pp.4-8.
3. Gallego E. [Comparative of the adsorption performance of a multi-sorbent bed (Carbotrap, Carbopack X, Carboxen 569) and a Tenax TA adsorbent tube for the analysis of Volatile Organic Compounds (VOCs)]. *Talanta*, 2010, vol.81, no.3, pp.916-924.

- нений на графитированной термической саже, модифицированной нематическим краун-эфиром // Журн. физ. химии.— 2005.— Т.79, №5.— С.943-946.
6. Song S. K., Shon Z. H., Kim K. H., Photochemical oxidation and dispersion of gaseous sulfur compounds from natural and anthropogenic sources around a coastal location // *Atmos. Environ.*— 2009.— Pp.3015-3023.
 7. Hazrati S., Harrad S. Calibration of polyurethane foam (PUF) disk passive air samplers for quantitative measurement of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): factors influencing sampling rates // *Chemosphere.*— 2007.— V.67.— P.448-455.
 8. Золотов Ю.А., Вершинин В.И. История и методология аналитической химии.— М.: Академия, 2007.— 464 с.
 9. Бадикова А.Д., Рулло А.В., Аблеев Р.И., Бейгул Н.А., Парамонов Е.А., Алехина И.Е. Сорбция углеводородных сорбатов, типичных для нефтяных месторождений, на поверхности полимерного адсорбента Tenax // Вестник Башкирского университета.— 2018.— Т.23, №4.— С.1074-1078.
 10. Киселева А.В., Древинга В.П. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии.— М.: Моск. ун-т, 1973.— 448 с.
 11. Хисамов Р.С., Харрингтон П., Герман В., Войтович С.Е., Чернышова М.Г. Применение метода *gore-sorber* в комплексе геофизических и геохимических исследований при диагностике углеводородных залежей // Георесурсы.— 2009.— №1(29).— С.29-32.
 4. Suprunenko O.I., Tugarova M.A. *Geokhimiya naftidov* [Geochemistry of naphthides]. Publishing House of St. Petersburg. Univ., 2002, pp.24-35.
 5. Onuchak L.A., Lapshin S.V., Kudryashov S.Yu., Akopova O.B. [Adsorption and selective retention of organic compounds by graphitized thermal black modified with a nematic crown ether]. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2005, vol.79, no.5, pp.817-819.
 6. Song S. K., Shon Z. H., Kim K. H. [Photochemical oxidation and dispersion of gaseous sulfur compounds from natural and anthropogenic sources around a coastal location]. *Atmos. Environ.*, 2009, pp.3015-3023.
 7. Hazrati S., Harrad S. [Calibration of polyurethane foam (PUF) disk passive air samplers for quantitative measurement of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): factors influencing sampling rates]. *Chemosphere*, 2007, vol.67, pp.448-455.
 8. Zolotov Yu.A., Vershinin V.I. *Istoriya i metodologiya analiticheskoy khimii* [History and methodology of analytical chemistry]. Moscow, Akademiya Publ., 2007, 464 p.
 9. Badikova A.D., Rullo A.V., Ableyev R.I., Beygul N.A., Paramonov Ye.A., Alekhina I.Ye. *Sorbtsiya uglevodorodnykh sorbatov, tipichnykh dlya neftyanykh mestorozhdeniy, na poverkhnosti polimernogo adsorbenta Tenax* [The sorption of hydrocarbon sorbates typical for oil fields on the surface of tenax polymer sorbent]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir University], 2018, vol.23, no.4, pp.1074-1078.
 10. Kiseleva A.V., Drevinga V.P. *Eksperimental'nyye metody v adsorbtsii i molekulyarnoy khromatografii* [Experimental methods in adsorption and molecular chromatography]. Moscow, Moscow State University Publ., 1973, 448 p.
 11. Khisamov R.S., Kharrington P., German V., Voytovich S.Ye., Chernyshova M.G. *Primeniye metoda gore-sorber v komplekse geofizicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy pri diagnostike uglevodorodnykh zalezhey* [Application of the gore-sorber method in a complex of geophysical and geochemical studies in the diagnosis of hydrocarbon deposits]. *Georesursy* [Georesources], 2009, no.1(29), pp.29-32.