

## ГЕОГРАФИЯ И МАСШТАБЫ ДЕГАЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Керимов В.Ю.<sup>1,2</sup>, Абдуллаева В.К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана  
AZ1000, Баку, Азербайджан, ул. Ф. Амирова, д. 9: [vagif.kerimov@mail.ru](mailto:vagif.kerimov@mail.ru)

<sup>2</sup>Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,  
117997, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 23

<sup>3</sup>Азербайджанский университет нефти и промышленности  
AZ1010, Баку, Азербайджан, просп. Азадлыг, 16/21

### GEOGRAPHY AND SCALE OF GREENHOUSE GAS DEGASATION IN AZERBAIJAN

Kerimov V.Yu.<sup>1,2</sup>, Abdullayeva V.K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Oil and Gas of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan,  
9, F.Amirov str., Baku, Azerbaijan, AZ 1000: [vagif.kerimov@mail.ru](mailto:vagif.kerimov@mail.ru)

<sup>2</sup>Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,  
23, Miklukho-Maklay str., Moscow, Russian Federation, 117997

<sup>3</sup>Azerbaijan State Oil and Industry University  
16/21, Azadlig prosp., Baku, Azerbaijan, AZ1000

**Keywords:** Azerbaijan, Earth degassing, long-lived greenhouse gases, carbon dioxide, nitrogen oxide, anthropogenic gas emissions, deep, crustal geofluidodynamic systems

**Summary.** The paper considers the conditions and scale of degassing in the territory of Azerbaijan. The structure of greenhouse gas emissions and the dynamics of emissions of carbon dioxide CO<sub>2</sub>, methane CH<sub>4</sub> and nitrogen oxide N<sub>2</sub>O generated from stationary sources in the territory of Azerbaijan are shown. Based on the research, the geography of greenhouse gas degassing and the volume of emissions of pollutants into the atmosphere by components in the territory of Azerbaijan were determined. It is analyzed that anthropogenic greenhouse gas emissions generated by stationary sources in Azerbaijan are formed as a result of the production activities of a number of industries, such as mining; provision of electricity, gas and steam; air conditioning; manufacturing industries; water supply; cleaning of drains; construction industry; agriculture and forestry; transport, storage and communication; repair of vehicles and motorcycles and other activities. The share of enterprises in the fuel and energy complex that emit greenhouse gases and pollute the atmosphere is about 60%. Recent studies show that in the territory of Azerbaijan, along with anthropogenic degassing, the deep and crustal degassing of the Earth also plays an active role.

© 2022 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

### Введение

Причиной выбросов газов в атмосферу является результат антропогенной деятельности человека и природных явлений – дегазации Земли. Изменение климата связано с увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, в число которых входят метан CH<sub>4</sub>, диоксид углерода CO<sub>2</sub>, оксид азота N<sub>2</sub>O, гексафторид серы SF<sub>6</sub>, перфторуглероды (ПФУ) и гидрофторуглероды (ГФУ) (Бюллетень ВМО по парниковым газам, 2015).

В табл.1 представлены показатели выбросов углекислого газа CO<sub>2</sub> по странам мира по данным Всемирного банка (ВБ). Самыми крупными эмитентами CO<sub>2</sub> являются Китай и США. Только на

эти две страны вместе приходится более 40% общемировых выбросов CO<sub>2</sub>. Другим показателем является эмиссия CO<sub>2</sub> на душу населения, который используется в климатологии и экологии для оценки уровня выброса парниковых газов (см. табл. 1). В связке с валовым национальным продуктом данный показатель характеризует энергетическую зависимость страны от углеводородов. С другой стороны, предельно низкие значения эмиссии свидетельствуют об индустриальной отсталости. С точки зрения климатологии высокие значения эмиссии CO<sub>2</sub>, ведущие к росту содержания парниковых газов в атмосфере Земли, являются основной причиной глобального потепления.

Таблица 1

Показатели выбросов углекислого газа CO<sub>2</sub> по странам мира по данным ВБ

Доля в % от общих выбросов CO <sub>2</sub>				Эмиссии CO <sub>2</sub> на душу населения		
№	Страна	2018, млн. т/год	2018, %	№	Страна	2018, %
1	Китай	10313.5	30.3	1	Катар	32.4
2	США	4981.3	14.6	2	Кувейт	21.6
3	Индия	2434.5	7.2	3	ОАЭ	20.8
4	Россия	1607.6	4.7	4	Бахрейн	19.6
5	Япония	1106.2	3.2	5	Бруней	16.6
6	Германия	709.5	2.1	6	Палау	16.2
7	Республика Корея	630.9	1.9	7	Канада	15.5
8	Иран	629.3	1.8	8	Австралия	15.5
9	Индонезия	583.1	1.7	9	Люксембург	15.3
10	Канада	574.4	1.7	10	Саудовская Аравия	15.3
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
70	Азербайджан	32.0	0.1	95	Азербайджан	3.2
	Европейский союз	2871.0	8.4		Европейский союз	6.4
	Еврозона	2207.4	6.5		Еврозона	6.5
	Страны ОЭСР	11998.5	35.2		Страны ОЭСР	8.8
	Всего в мире	34041.0	100.0		Среднее в мире	4.6

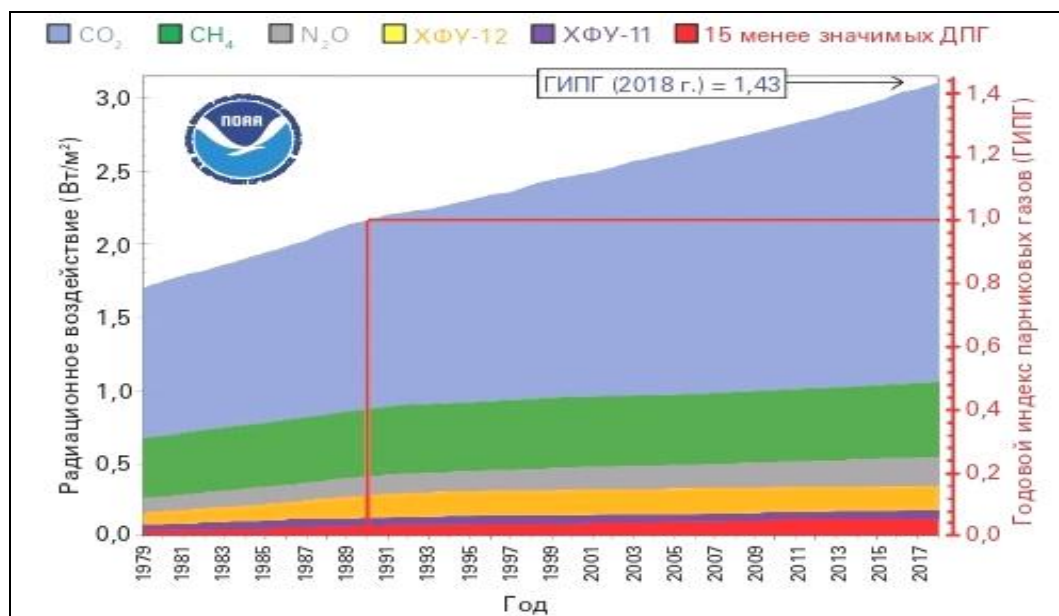


Рис. 1. Радиационное воздействие долгоживущих парниковых газов на атмосферу за 2018 г. относительно 1979 г. (Butler, Montzka, 2018)

Информация о содержании в атмосфере важнейших долгоживущих парниковых газов (ДПГ) ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и закиси азота  $\text{N}_2\text{O}$ , ХФУ-12 и ХФУ-11), составляющих 96%, и о радиационном воздействии, обусловленном долгоживущими парниковыми газами, а также о темпах изменения их содержания приводится на рис. 1 (Butler, Montzka, 2018).

Вклад диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в увеличение радиационного воздействия долгоживущих парниковых газов за последнее десятилетие составляет примерно 82%, а за последние пять лет – порядка 81%. Глобально усредненная молярная доля  $\text{CO}_2$  в 2018 г. составила  $407.8 \pm 0.1$  млн.<sup>-1</sup>. Из всего объема выбросов в результате человеческой деятельности в период с 2009 по 2018 гг. около 44% аккумулировалось в атмосфере, 23% – в океане и 29% – на суше; не соотношенный ни с чем остаток баланса составляет 4% (Friedlingstein, Jones, 2019).

Глобально усредненная доля метана  $\text{CH}_4$ , рассчитанная на основании наблюдений *in situ*, достигла в 2018 г. нового максимума, составившего  $1869 \pm 2$  млрд.<sup>-1</sup>, что является увеличением на 10 млрд.<sup>-1</sup> по отношению к предыдущему году. Этот рост превышает увеличение в размере 7 млрд.<sup>-1</sup> в период с 2016 по 2017 гг., а также среднегодовое увеличение за последнее десятилетие (The energy report..., 2011).

Глобально усредненная молярная доля оксида азота  $\text{N}_2\text{O}$  в 2018 г. достигла  $331.1 \pm 0.1$  млрд.<sup>-1</sup>, что на 1.2 млрд.<sup>-1</sup> выше показателя предыдущего года и на 123% больше доиндустриального уровня (270 млрд.<sup>-1</sup>). Вероятные причины увеличения концентрации  $\text{N}_2\text{O}$  в атмосфере заключаются в расширении использования удобрений в сельском хозяйстве и увеличении объема  $\text{N}_2\text{O}$ , высвобождающегося из почв из-за избыточного осаждения атмосферного азота в связи с загрязнением воздуха (Sutton et al., 2013).

Содержание в атмосфере некоторых гидрохлорфторуглеродов и гидрофторуглеродов растет относительно высокими темпами даже при том, что степень их концентрации находится на низком уровне – трлн.<sup>-1</sup>.

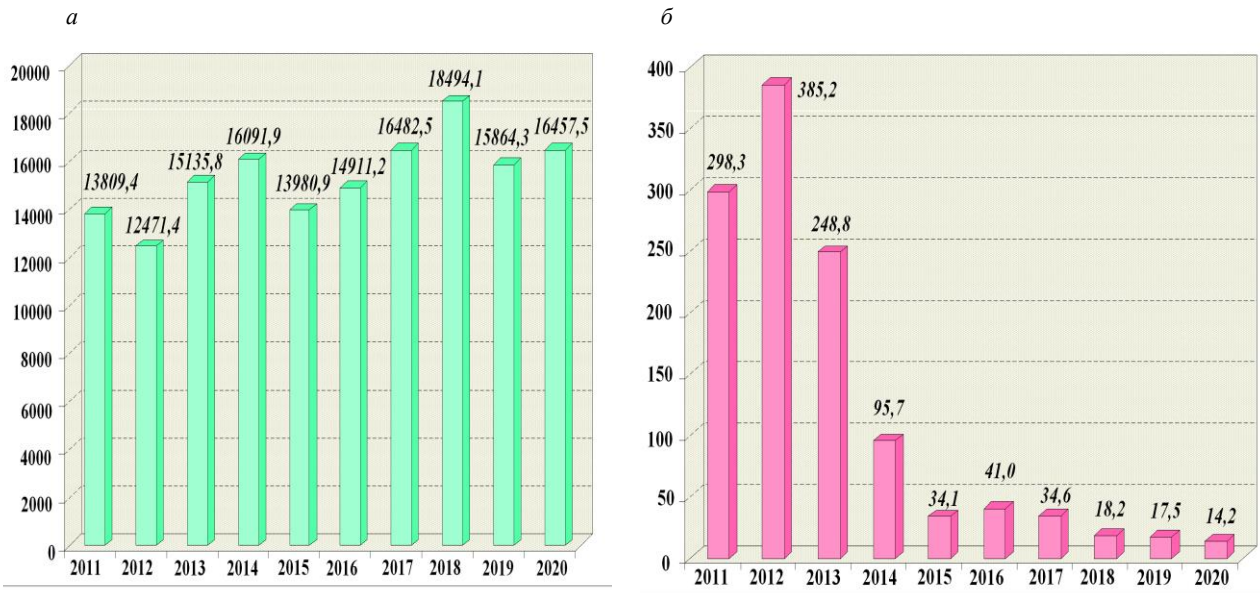
#### **Антропогенная дегазация долгоживущих парниковых газов на территории Азербайджана**

Диоксид углерода  $\text{CO}_2$  является наиболее важным антропогенным парниковым газом в атмосфере, доля которого в радиационном воздействии составляет приблизительно 66%. Доля выбросов  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемого топлива, которая остается в атмосфере (атмосферная фракция), изменяется каждый год

вследствие значительной естественной изменчивости поглотителей  $\text{CO}_2$ . Продукты сжигания ископаемого топлива от природных источников  $\text{CO}_2$  можно отличать, воспользовавшись измерением концентрации радиоактивного углерода ( $^{14}\text{C}$ ) в составе атмосферного углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Измерение изотопного состава  $\text{CO}_2$  в атмосфере помогает идентифицировать и количественно определять его источники и поглотители. В природных системах присутствуют три изотопа углерода:  $^{12}\text{C}$  (~99% всего объема углерода),  $^{13}\text{C}$  (~1%) и  $^{14}\text{C}$  (~1 часть на триллион). Все изотопы углерода живут на протяжении всего углеродного цикла, однако относительная доля каждого изотопа в различных накопителях углерода варьируется, создавая уникальные «отпечатки» для каждого накопителя. Концентрация  $^{14}\text{C}$  является важным показателем для обнаружения  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемого топлива и в настоящее время выступает в качестве основного метода оценки выбросов  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемого топлива при производстве измерений в атмосфере (Метц и др., 2005). Одновременные наблюдения за  $\text{CO}_2$  и  $^{14}\text{C}$  свидетельствуют о снижении содержания  $^{14}\text{C}$  в атмосферном  $\text{CO}_2$ , вызванном выбросом в атмосферу дополнительных объемов  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемого топлива. Например, модели расположения мест с высокой концентрацией  $\text{CO}_2$  в результате сжигания ископаемого топлива были определены в большинстве стран мира благодаря пробам атмосферного  $^{14}\text{C}$ , взятым непосредственно в воздухе и растительном материале (Hsueh et al., 2007; Shibata et al., 2005).

Информация о динамике выбросов диоксида углерода, генерируемых из стационарных источников на территории Азербайджана, показана на рисунке 2а. По выбросам  $\text{CO}_2$  Азербайджан находится на 70-ом, а по эмиссии  $\text{CO}_2$  на душу населения – на 95-ом месте (см. табл. 1). Выбросы углекислого газа в Азербайджане в 2020 г. сократились на 5.5% по сравнению с 2019 г.

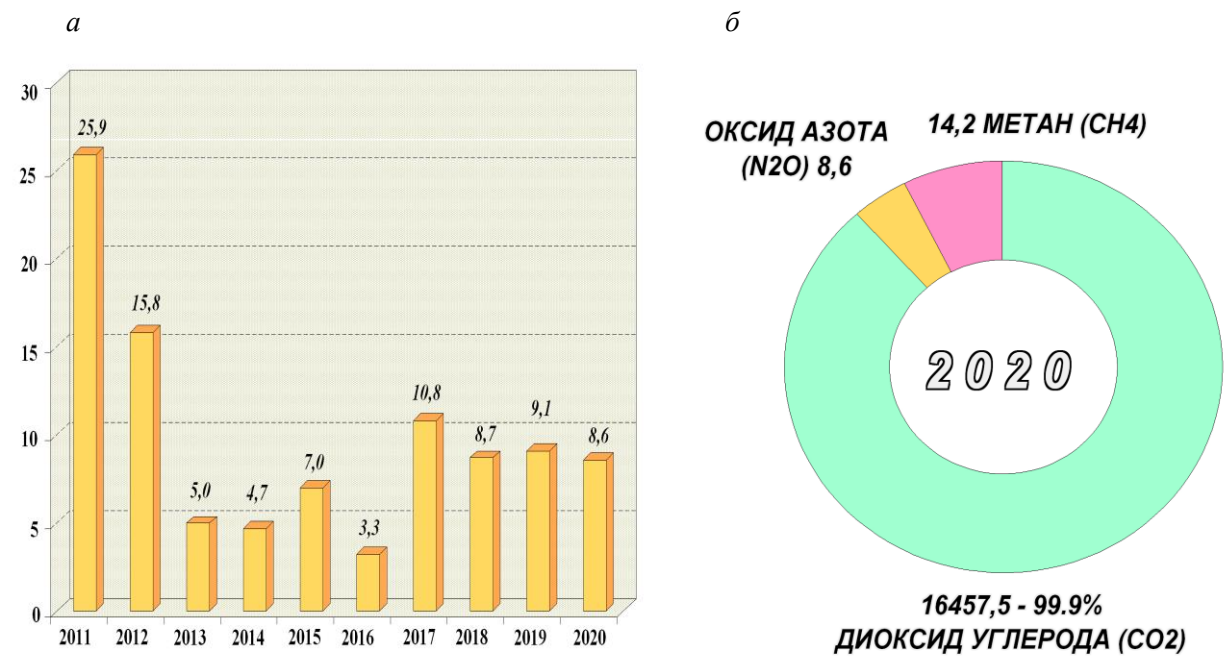
Доля метана  $\text{CH}_4$  в радиационном воздействии ДПГ составляет примерно 17%. Приблизительно 40% метана поступает в атмосферу из естественных источников (например, глубинный метан, водно-болотные угодья и термитники) и около 60% – из антропогенных (например, использование ископаемого топлива, захоронение отходов и сжигание биомассы, разведение скота, выращивание риса и др.) (Saunio et al., 2019). Информация о динамике выбросов метана  $\text{CH}_4$  на территории Азербайджана показана на рис. 2б.



**Рис. 2.** Динамика выбросов диоксида углерода CO<sub>2</sub> (а) и метана CH<sub>4</sub> (б) в тыс. т, генерируемых из стационарных источников на территории Азербайджана (Государственный статистический комитет Азербайджанской Республики, 2022)

Доля оксида азота N<sub>2</sub>O в радиационном воздействии ДПГ составляет примерно 6%. Так, N<sub>2</sub>O поступает в атмосферу как из естественных (около 60%), так и из антропогенных источников (приблизительно 40%), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Информация о динамике выбросов оксида азота N<sub>2</sub>O, генерируемых из стационарных источников на территории Азербайджана, показана на рис. 3а. В целом структура выбросов ДПГ на территории Азербайджана показана на рисунке 3б.

Доля оксида азота N<sub>2</sub>O в радиационном воздействии ДПГ составляет примерно 6%. Так, N<sub>2</sub>O поступает в атмосферу как из естественных (около 60%), так и из антропогенных источников (приблизительно 40%), включая океаны, почву, сжигание биомассы, использование удобрений и различные промышленные процессы. Информация о динамике выбросов оксида азота N<sub>2</sub>O, генерируемых из стационарных источников на территории Азербайджана, показана на рис. 3а. В целом структура выбросов ДПГ на территории Азербайджана показана на рисунке 3б.



**Рис. 3.** Динамика выбросов оксида азота N<sub>2</sub>O (а) и структура выбросов ДПГ (б) на территории Азербайджана (Государственный статистический комитет Азербайджанской Республики, 2022)



Таблица 2

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, генерируемых парниковыми газами из стационарных источников, тыс. т

Загрязняющие вещества	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	17 664.4	14 828.8	16 013.3	15 293.1	14 399.6	13 809.4	12 471.4	15 135.8
Оксид азота N <sub>2</sub> O	0.8	1.7	6.4	10.4	11.8	25.9	15.8	5.0
Метан CH <sub>4</sub>	16.6	24.3	49.5	24.2	18.3	298.3	385.2	248.8
<b>Промышленные газы с большим периодом жизни</b>								
Гидрофторуглероды	0.6	0.5	0.2	7.0	6.8	0.0	6.4	3.9
Гексафторид серы SF <sub>6</sub> (стойкий парниковый газ)	0.1	0.1	0.2	0.6	0.3	0.7	0.6	0.2
Перфторированные органические соединения	0.9	0.6	0.3	6.4	5.6	0.1	5.6	2.4
	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	16 091.9	13 980.8	14 911.2	16 482.5	18 494.1	15 864.3	16 457.5	
Оксид азота N <sub>2</sub> O	4.7	7.0	3.3	10.8	8.7	9.1	8.6	
Метан CH <sub>4</sub>	95.7	34.1	41.0	34.6	18.2	17.5	14.2	
<b>Промышленные газы с большим периодом жизни</b>								
Гидрофторуглероды	1.8	0.7	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	
Гексафторид серы SF <sub>6</sub> (стойкий парниковый газ)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Перфторированные органические соединения	0.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	

### Дегазация природных газов на территории Азербайджана

Как свидетельствуют результаты исследований, на территории Азербайджана наряду с глубокой дегазацией Земли активная роль принадлежит коровой дегазации, сопряженной с состоянием и функционированием геотектонодинамических систем, которые связаны с напряженным состоянием недр, высокой и разнообразной геодинамической активностью, ярким проявлением сейсмичности, грязевым вулканизмом и геохимическими процессами (Гулиев, Керимов, 2018; Гулиев и др., 2018). Формирование и эволюция геотектонодинамических систем в недрах Земли

происходит под влиянием геодинамических процессов при активном воздействии генерации, миграции и аккумуляции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна при возникновении очагов фазовых переходов метана и водорода из растворенного в подземных водах в свободное состояние (Kerimov et al., 2018). Метан является преобладающим компонентом в составе углеводородных газовых залежей. Превалирует он и в составе газовых шапок, и в растворенном газе низкоплотных, маловязких нефтей и представлен в выделениях грязевых вулканов в момент их извержения. Со-

ответственно, формирование месторождений газа и нефти и грязевой вулканизм связаны с развитием полей концентраций этого компонента в природных средах, а именно – с процессами его образования, распределения и потребления в естественных циклах эволюции этих сред (Керимов и др., 2014; Kerimov et al., 2019). Поэтому и образование углеводородов, и грязевые извержения естественно рассматривать как составляющие общего явления, в основе которого лежат фазовые переходы, обусловленные развитием поля метана. Таким образом, процесс современной разгрузки газообразных флюидов связан с изменением энергетического состояния геофлюидодинамических систем и целым рядом физико-

химических и флюидодинамических факторов (Цогоев, 1969; Челидзе, 1983).

Проявление свободного водорода в породах нефтегазоносных районов наталкивает на вывод, что водород также характерен для газов вмещающих пород. В 1971 г. В.А.Соколов отметил явную тенденцию увеличения количества водорода в газах, приуроченных к более древним отложениям. Указанные закономерности не позволяют считать нефть или горючий газ донорами водорода и связывать его присутствие в газах с процессами метаморфизма нефти или углеводородных газов. Скорее, наоборот, нефть выступает в качестве акцептора водорода, мобилизуя его из прилежащих пород.

Таблица 3

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников по видам экономической деятельности и компонентам в 2020 г., тыс. т

Виды экономической деятельности	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, всего	Включая					
		Твердые частицы	Газообразные и жидкие вещества	Сернистый ангидрид SO <sub>2</sub>	Оксид углерода CO	Оксид азота NO <sub>2</sub>	Углеводороды
<b>ВСЕГО</b>	<b>146.7</b>	<b>3.8</b>	<b>142.9</b>	<b>1.1</b>	<b>17.3</b>	<b>21.0</b>	<b>92.0</b>
Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0
Добыча полезных ископаемых	60.5	2.7	57.8	0.2	6.6	9.5	41.0
Обрабатывающие производства	25.1	0.9	24.2	0.8	2.2	2.7	8.8
Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	24.5	–	24.5	0.0	7.3	8.2	8.4
Водоснабжение, очистка сточных вод	0.4	0.0	0.4	0.0	0.1	0.3	0.0
Строительная индустрия	1.2	0.2	1.0	0.1	0.3	0.1	0.1
Розничная и оптовая торговля, ремонт автотранспортных средств и мотоциклов	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5
Транспортировка, хранение и связь	34.2	0.0	34.2	0.0	0.7	0.2	33.2
Предоставление прочих видов услуг	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

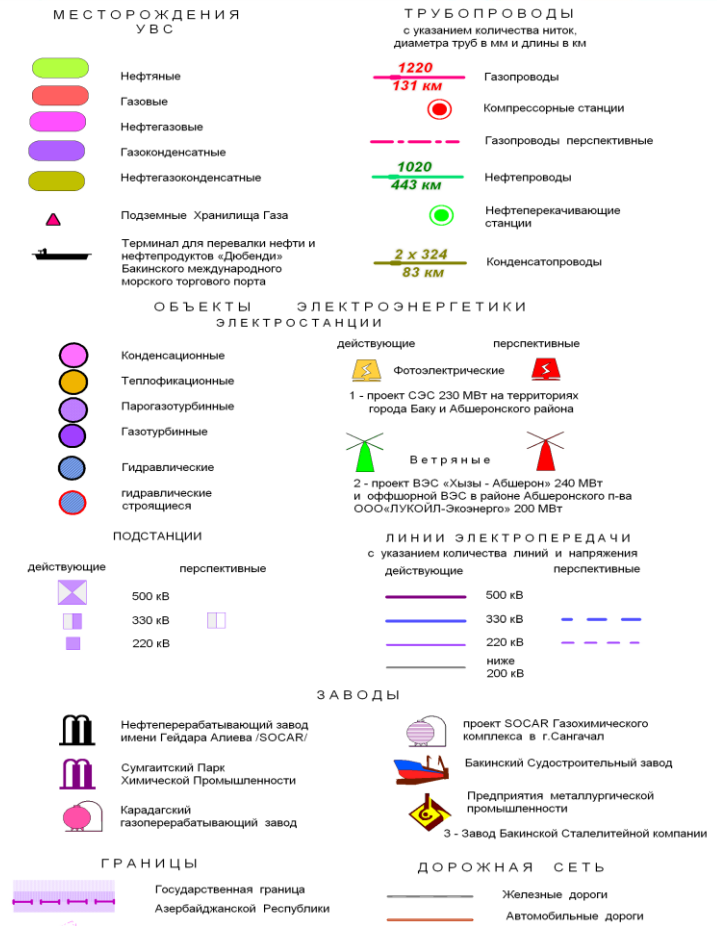


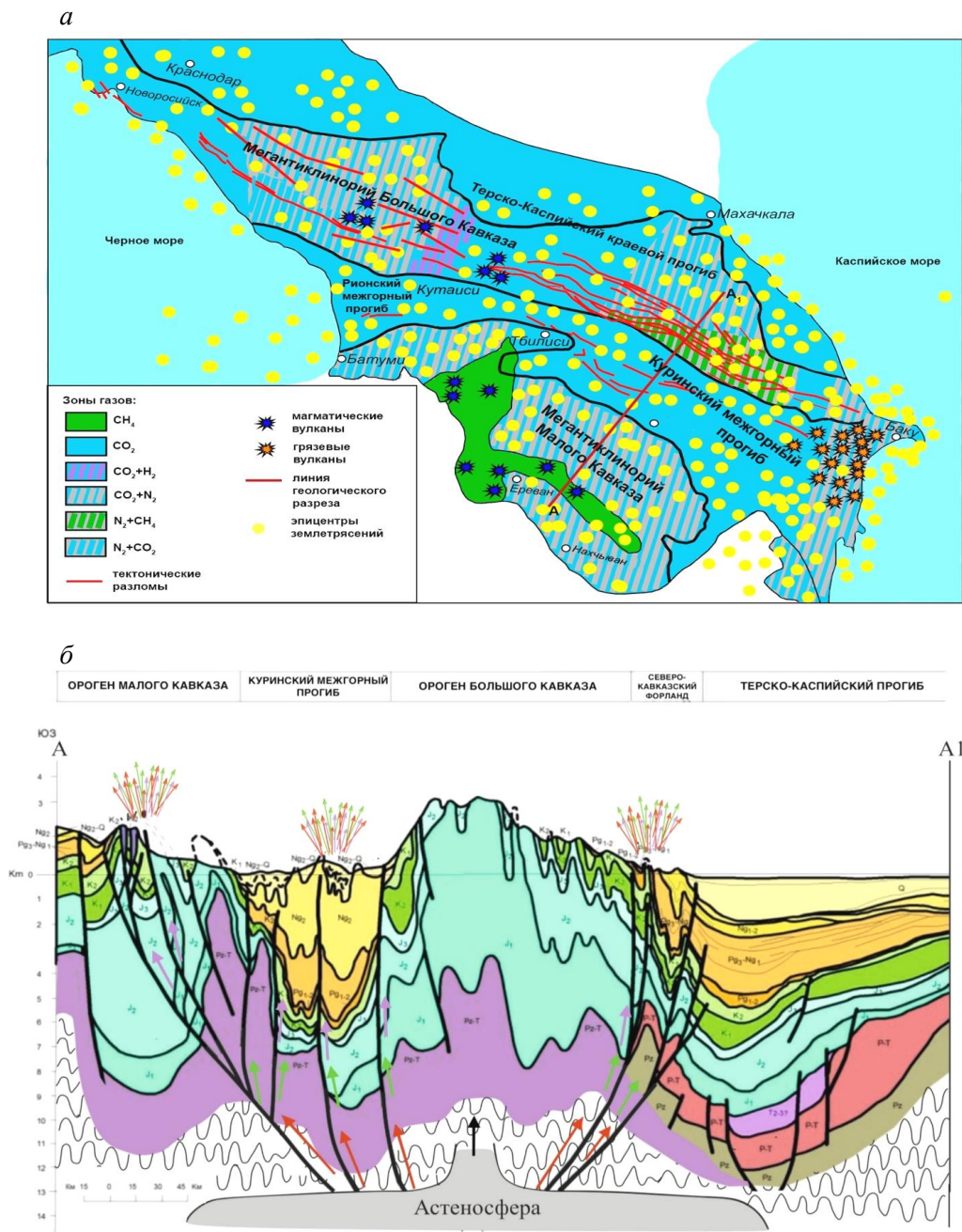
Рис. 6. Топливо-энергетический комплекс Азербайджана (автор: В.Ю. Керимов)

Природные газы на территории Азербайджана характеризуются разнообразным химическим составом. Основными компонентами природных газов являются метан, углекислый газ и азот с содержанием более 50%. Остальные компоненты, такие как этан, пропан, бутан, аргон и др., являются примесями, содержание которых не превышает единицы процентов, а такие, как сероводород, гелий, неон и др., содержатся в микроконцентрациях, в долях одного процента (Керимов и др., 2015; 2017).

На этапе орогенеза горных систем на Большом и Малом Кавказе отмечается интенсивная вулканическая деятельность, фумарольная ста-

дия которой сегодня привела к выделению парниковых газов – метана, углекислого газа и др. На Большом Кавказе с многочисленными тектоническими разломами связаны каналы глубоинной дегазации (рис. 7).

Структурно-морфологические особенности строения горных сооружений Кавказа контролирует газовая зональность минеральных вод в регионе (Лаврушин, 2012), где встречаются почти все известные типы минеральных вод, различающиеся по газовому составу (Иванов, Гулиев, 2002): метановые, азотные, сероводородные и углекислые (рис. 8).

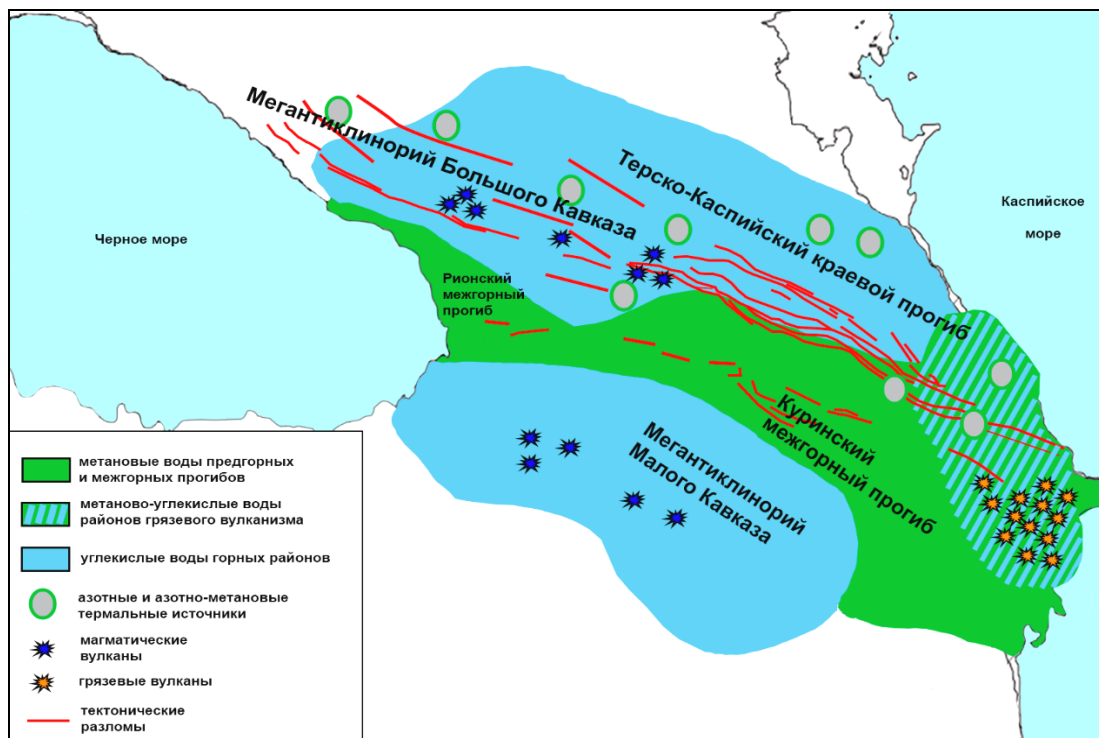


**Рис. 7.** Схематическая карта (а) и геологический разрез (б) дегазации природных газов Кавказа (составил В.Ю. Керимов по материалам Буачидзе, Мхейдзе, 1989; Иванова, Гулиева, 2002; Senin et al., 2021 и др.)

В осевой части Большого Кавказа встречаются воды, в газах которых доминирует углекислота. Область развития углекислых вод протягивается узкой полосой вдоль оси Большого Кавказа. В предгорных районах располагается область развития пластовых метановых вод (рис. 8). В основном они характерны для хорошо стратифицированных водоносных комплексов предгорных и межгорных впадин, где они ассоциируются с месторождениями нефти и газа (Senin et al., 2021; Kerimov et al., 2020a). С удалением от осевой зоны Главного хребта углекислые воды сменяются азотно-метановыми термами, которые формируются в областях интенсивных орогенных движений (Богоявленский и др., 2020).

Углекислые воды на территории Азербайджана представляют собой гетерогенную систему, компоненты которой имеют разный генезис. По изотопному составу гелия и углерода  $CO_2$  газы минеральных вод близки к газам верхней мантии, однако, судя по высоким значениям  $CO_2/He$ , доля метаморфогенной  $CO_2$  значительно превышает магматогенную. Примесь метана в газах имеет коровое происхождение, и его повышенные концентрации маркируют надвиговую структуру Главного хребта. В питании источников доминирует атмосферная составляющая. В изотопном составе воды видны следы высотной зональности, типичной для современных атмосферных осадков (Лаврушин, Поляк, 1997).

Углекислые воды распространены в горных районах Большого и Малого Кавказа, выходы которых в основном представлены естественными источниками. Метан в углекислых водах присутствует в концентрациях от  $6 \cdot 10^{-5}$  до  $15^{-20}$  % об. На периферии горного сооружения, там, где формирование углекислых вод происходит в водоносных комплексах мезозойского возраста, его содержание в спонтанных газах, как правило, увеличивается. Однако его высокие концентрации (до  $0.5^{-15}$  % об.) встречаются также и в газах некоторых источников Главного хребта. В то же время обращает на себя внимание тот факт, что область высоких концентраций метана в газах линейно вытянута вдоль оси Главного хребта. Это может быть признаком существования здесь покровных структур, широко развитых на склонах Большого Кавказа (Пантелеев, 1963). Локализация углекислых вод в районах молодого вулканизма позволяет предполагать, что в формировании их газовой фазы принимают участие летучие (магматогенные или магматогенно-метаморфогенные) газы, выделившиеся непосредственно из магматического расплава и/или возникшие при его взаимодействии с вмещающими породами. Наряду с этим в газах также могут присутствовать компоненты, образующиеся в осадочных породах, например, при разложении органического вещества, или газы атмосферного происхождения, поступающие в водоносные горизонты вместе с инфильтрационными водами (Хан, 2010; Bogoyavlensky et al., 2021).



**Рис. 8.** Схема газовой зональности минеральных вод Кавказского региона (составил В.Ю. Керимов по материалам Буачидзе, Мхсидзе, 1989; Лаврушина, 2012; Цогоева, 1969)

Количество CO<sub>2</sub> в газах вулканов Азербайджана находится обычно в пределах 0.01-8.6%, в среднем составляя 3.0%. Газы вулканов Шамахи-Гобустанского района характеризуются большими значениями CO<sub>2</sub> – до 10%. Количество азота составляет 0.06-11.7%. Содержание инертных компонентов незначительно, достигая в среднем 0.012% (Прикаспийско-Губинский район). В небольшом количестве присутствует и водород H<sub>2</sub>, составляя в среднем 0.006% (Бакинский архипелаг) (Алиев и др., 2015; Геология Азербайджана, 2008).

Определить роль каждого источника можно, используя изотопные характеристики газов. Наиболее надежным индикатором присутствия мантийной компоненты в подземных газах, как известно, является отношение концентраций изотопов гелия  $3\text{He}/4\text{He}=\text{R}$  (Клубков и др., 2021; Успенский, 2021). В природных газах это отношение варьирует в пределах трех порядков – от  $1 \cdot 10^{-8}$  в древней континентальной коре до  $1.2 \cdot 10^{-5}$  в верхней мантии. Соответственно, промежуточные значения  $^3\text{He}/^4\text{He}$  в газах указывают на смешение мантийных и коровых компонентов. Данные об изотопном составе гелия и его концентрации в газе помогают уточнить генезис углекислоты и метана.

Основным компонентом газа грязевых вулканов Азербайджана является метан, содержание которого изменяется от 70 до 99 % об. (Алиев и др., 2015; Kerimov et al, 2020b). Метановые газы грязевых вулканов представляют собой гомогенную систему, все компоненты которой (газ, вода, солевая нагрузка) имеют коровый источник и формируются в едином резервуаре в верхних этажах осадочной толщи. Формирование изотопного

состава воды грязевых вулканов характеризуется основными изотопно-химическими свойствами газодонных флюидов (химическим составом воды и величинами  $\delta^{11}\text{B}$  и  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ , что доказывает элизионный генезис грязевулканических систем (Гулиев, 1978; Богоявленский и др., 2016).

Повышенные концентрации метана наблюдаются в газах источников из палеозойских кристаллических пород Главного хребта. Высокие концентрации, приуроченные к выходам кристаллических пород, а также отсутствие видимой связи с осадочными породами позволяют высказать предположение, что метан здесь генетически не связан с комплексами осадочных пород и может иметь abiогенное (не осадочное) происхождение (Лаврушин, 2012; Дадашев, 1970; Дадашев и др., 1980; Дадашев, Гулиев, 1984).

Метан из грязевых вулканов в Среднекурином прогибе по величине  $\delta^{13}\text{C}$  идентичен метану углеводородных залежей (Гемп и др., 1970; Валиев и др., 1985). В грязевых вулканах Азербайджана (в Прикаспии) отмечался диапазон значений для  $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$  от -36.9 до +24.0‰ при средней величине +2.4‰. Как известно (Галимов, 1968; 1973 и др.), наименьшие значения  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4) \approx -70\text{‰}$  присущи биогенному метану (болотный газ и т.п.), тогда как более высокие характерны для термогенного метана.

Метан является основным компонентом углеводородных газов нефтяных месторождений азербайджанского сектора Южно-Каспийской впадины (ЮКВ), и его содержание в редких случаях снижается до 50% (Кадиров, Сафаров, 2013; Байрамова и др., 2021). Среднее содержание отдельных компонентов в различных отложениях приведено в табл. 4.

Таблица 4

Содержание основных компонентов природных газов в литолого-стратиграфических комплексах азербайджанского сектора ЮКВ

Возраст вмещающих пород	Метан+этан	Пропан	Бутан	Пентан	Пропан+высшие	Углекислый газ	Метан/тяжелые
Абшеронский ярус	95.28	1.57	0.8	0.37	2.74	0.8	35
Продуктивная толща	90.92	0.64	0.60	0.60	1.84	6.2	49
Чокракский горизонт	94.50	1.58	1.25	0.77	3.60	1.6	26
Майкопская серия	88.66	3.90	2.65	1.63	8.18	3.1	10
Фораминиферовые слои	84.61	5.50	6.22	2.96	14.68	0.7	5

Таким образом, наиболее широким распространением пользуются метановые газы, которые приурочены в основном к Большому Кавказу и Прикаспийско-Губинской наложенной мульде, Южно-Каспийской и Куринской впадинам (Lapidus et al., 2018). Углекислые газы занимают территорию Малого Кавказа и западную часть Талыша. Азотные газы небольшими по площади зонами присутствуют на Большом Кавказе, Талыше и северо-востоке Прикаспийско-Губинской наложенной мульде. В пределах Талыша присутствие зон всех трех основных газовых компонентов позволяет говорить о незаконченности ранее начавшихся геологических процессов (Керимов и др., 2016; Лаврушин, 2012; Mustaev et al., 2016).

На космических снимках (рис. 9а) отчетливо видны поступления огромных масс жидких и газообразных флюидов в акватории Каспийского моря, отобразившихся на радиолокационной информации и являющихся результатом активизации геодинамических и геофлюидодинамических процессов (Gurbanov et al., 2019; Javadova, 2021). Данные об исторических извержениях показывают, что за новейший период деятельности страто- и грязевых вулканов в атмосферу в процессе извержений было выброшено нескольких десятков триллионов кубометров газа, в том числе углекислого газа (табл. 5).

В связи с изменением климата газогидраты, являющиеся метастабильными источниками, могут разлагаться с выделением гигантских объемов углекислого газа. Гидраты стабильно существуют при определенных термобарических условиях (рис. 9, б), но под воздействием неотектонических процессов эти условия могут изменяться.

При этом масса газогидратов может распадаться с выделением углеводородных газов. Характер распада может быть либо постепенным, либо взрывным – в зависимости от скорости изменения давления или температуры. Гидраты взрывоопасны, особенно в глубоководных условиях.

## Заключение

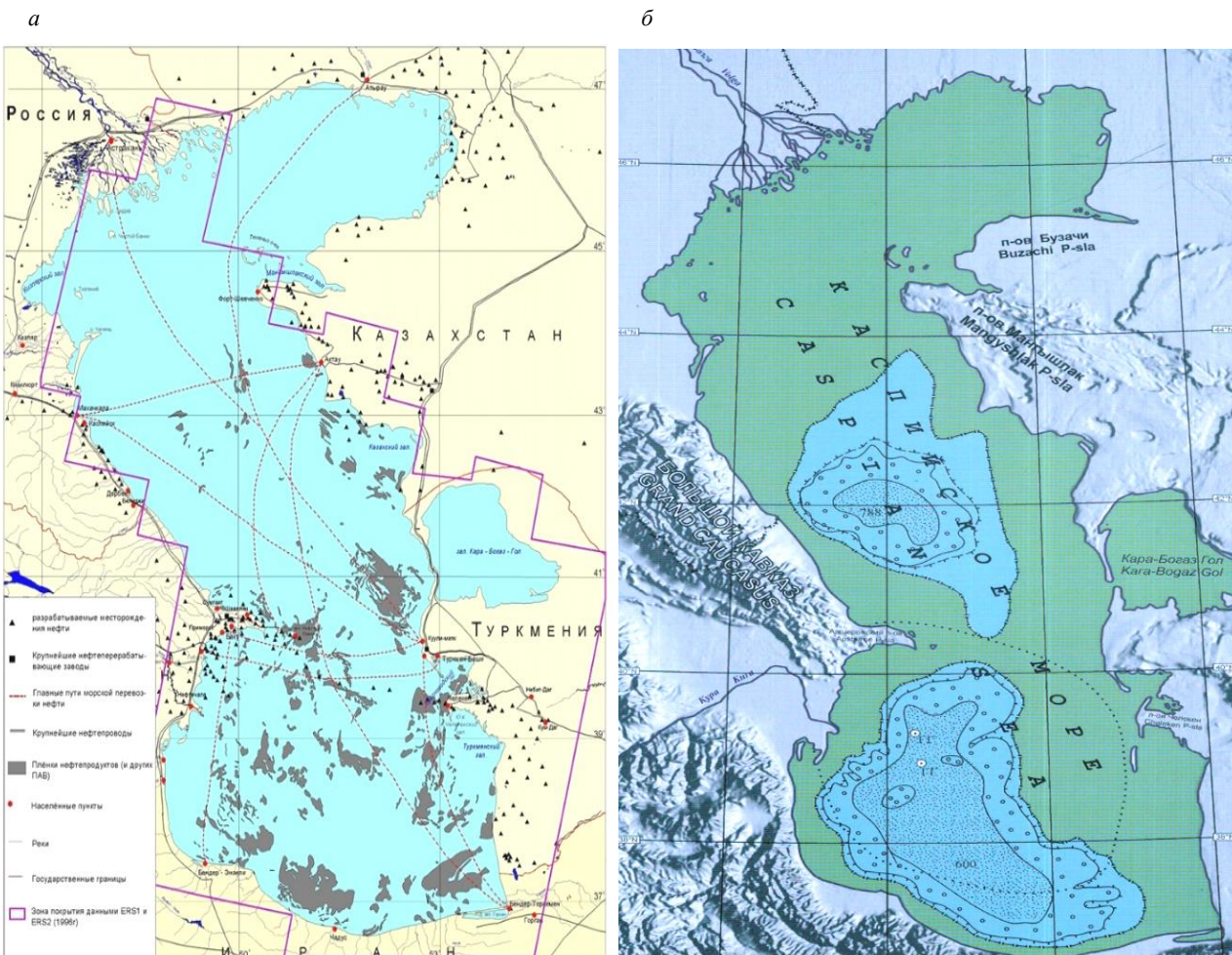
Проведенные исследования позволили определить масштабы и географию дегазации парниковых газов, объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по компонентам на территории Азербайджана, структуру выбросов парниковых газов и динамику выбросов диоксида углерода CO<sub>2</sub>, метана CH<sub>4</sub> и оксида азота N<sub>2</sub>O, генерируемых из стационарных источников на территории Азербайджана. По видам экономической деятельности антропогенные выбросы парниковых газов, загрязняющих атмосферу, генерируемых из стационарных источников в Азербайджане, образуются в результате производственной деятельности ряда отраслей: добыча полезных ископаемых, обеспечение электрической энергией, газом и паром, кондиционирование воздуха, обрабатывающие производства, водоснабжение, очистка сточных вод, строительная индустрия, сельское и лесное хозяйство, транспорт, хранение и связь, ремонт автотранспортных средств и мотоциклов, а также другие виды деятельности. Доля предприятий топливно-энергетического комплекса, выбрасывающих парниковые газы, которые загрязняют атмосферу, составляет около 60%. Показана структура выбросов парниковых газов и динамика выбросов диоксида углерода CO<sub>2</sub>, метана CH<sub>4</sub> и оксида азота N<sub>2</sub>O, генерируемых из стационарных источников на территории Азербайджана.

Исследования свидетельствуют, что на территории Азербайджана наряду с антропогенной дегазацией активная роль принадлежит глубинной и коровой дегазации Земли. Коровая дегазация, связана с состоянием и функционированием геофлюидодинамических систем, формирование и эволюция которых происходит под влиянием геодинамических процессов при активном влиянии генерации, миграции и аккумуляции метана, водорода и других газов, которые протекают во всем объеме осадочного выполнения и на всех этапах эволюции бассейна.

Таблица 5

Объемы выделяемого газа на грязевых вулканах на территории Азербайджана

Грязевые вулканы	Годы извержений	Объем выделенного газа
Грязевые вулканы на территории Азербайджана	За период 1,81 млн. лет (квартер)	≈ 178·10 <sup>3</sup> млрд. м <sup>3</sup>
250 грязевых вулканов	За период 1810–1997 гг.	≈ 250 млн. м <sup>3</sup>
влк. Большой Мараза	1902 г.	120 млн. м <sup>3</sup>
влк. Торагай	1946 г.	≈ 500 млн. м <sup>3</sup>
влк. Остров Дуванны	1961 г.	≈ 65 млн. м <sup>3</sup>
влк. Дашгиль	2001 г.	40 тыс. м <sup>3</sup> /день



**Рис. 9.** Отображение нефтяных пятен на поверхности (а) со спутника Envisat (Глумов и др., 2004) и зоны распространения газогидратов (б) в акватории Каспийского моря (Guliyev et al., 2021)

Для мониторинга выбросов в атмосферу парниковых газов в результате природных явлений (дегазации Земли) и антропогенной деятельности, рекомендуется внедрение трехуровневой системы мониторинга, диагноза и прогноза, включающей:

1. Космический мониторинг:

А) мониторинг в атмосфере концентраций ДПГ метана в различных диапазонах;

Б) мониторинг естественных газонефтепроявлений на суше и море. Мониторинг концентраций метана, углекислого газа и водорода в атмосфере позволяет оконтуривать глобальные области интенсивного стока этих газов с последующей привязкой к их источникам.

2. Мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов.

3. Мониторинг подземной геологической среды будет осуществляться на базе геофизической обсерватории в реальном масштабе времени.

4. Геохимические исследования позволяют получить дополнительную информацию об очагах генерации и источниках современной разгрузки газов.

5. Мониторинг концентрации газов с помощью лазерной абсорбционной спектроскопии и технологии распределенных сенсорных сетей позволяет в режиме онлайн обнаруживать с высокой точностью следы вредных газов.

**ЛИТЕРАТУРА**

Алиев А.А., Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г., Рахманов Р.Р. Атлас грязевых вулканов мира. Нафта-Пресс. Баку, 2015, 323 с.  
 Байрамова Ш.Ш., Тагиева Е.Н., Бабазаде А.Д. Микропалеонтологические исследования отложений майкопской серии юго-восточного окончания Большого Кавказа (Азербайджан). Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле, No. 1, 2021, с. 56-74.

**REFERENCES**

Aliiev A.A., Guliyev I.S., Dadashev F.G., Rakhmanov R.R. Atlas of mud volcanoes of the world. Nafta-Press. Baku, 2015, 323 p. (in Russian).  
 Bayramova Sh.S., Taghiyeva Y.N., Babazadeh A.D. Micropaleontological studies of the maykop series, south-eastern edge of the Greater Caucasus (Azerbaijan). ANAS Transactions, Earth Sciences, No.1, 2021, pp. 56-74.

- Богоявленский В.И., Керимов В.Ю., Ольховская О.О. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Охотское море. Нефтяное хозяйство, No. 6, 2016, с. 43-47.
- Богоявленский В.И., Сизов О.С., Никонов Р.А., Богоявленский И.В., Каргина Т.Н. Дегазация Земли в Арктике: генезис природной и антропогенной эмиссии метана. Арктика: экология и экономика, No. 3(39), 2020, с. 6-22.
- Буачидзе Г.И., Мхеидзе Б.С. Природные газы Грузии. Мецниереба. Тбилиси, 1989, 155 с.
- Бюллетень ВМО по парниковым газам № 15 от 25 ноября 2019 года.
- Валяев Б.М., Гринченко Ю.И., Ерохин В.Е. Изотопный облик газов грязевых вулканов. Литология и полезные ископаемые, No.1, 1985, с. 72-87.
- Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. Недра. Москва, 1968, 226 с.
- Галимов Э.М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. Недра. Москва, 1973, 384 с.
- Гемп С.Д., Дуброва Н.В., Несмелова З.Н. Изотопный состав углерода углеродсодержащих газов (CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>) грязевых вулканов Керченско-Таманской области. Геохимия, No. 2, 1970, с. 243-247.
- Геология Азербайджана. Т. VII – Нефть и газ. Нафта-Пресс. Баку, 2008, 672 с.
- Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А. Региональная геология и нефтегазосность Каспийского моря. Недра-Бизнесцентр. Москва, 2004, 342 с.
- Государственный статистический комитет Азербайджанской Республики. 2022, [https://www.stat.gov.az/source/balance\\_fuel/lang=en](https://www.stat.gov.az/source/balance_fuel/lang=en).
- Гулиев И.С. Зональность природных газов Азербайджана и газогеохимические поиски нефти и газа. Автореферат диссертации канд. геол.-мин. наук, Москва, 1978, 24 с.
- Гулиев И.С., Керимов В.Ю. Углеродная дегазация Земли: мониторинг, масштабы и геоэкологические последствия. Актуальные проблемы нефти и газа, Вып. 4(23), 2018, 79 с.
- Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н. Дегазация Земли: масштабы и последствия. Горный журнал, No. 11, 2018, с. 38-42.
- Дадашев Ф.Г. Газосность продуктивной толщи Юго-Восточного Кавказа. Элм. Баку, 1970, 150 с.
- Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С. Газосность мезокайнозойских отложений и перспективы поиска новых газовых месторождений в Южно-Каспийской впадине. В книге: Очерки по геологии Азербайджана. Азернешр. Баку, 1984. с. 126-147.
- Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А. Геотектонические и геохимические особенности дегазации Земли в пределах геосинклинальных областей. В книге: Дегазация Земли и геотектоника. Наука. Москва, 1980, с. 116-123.
- Иванов В.В., Гулиев И.С. Массообмен, углеводородообразование и фазовые переходы в осадочных бассейнах. Нафта-Пресс. Баку, 2002, 108 с.
- Кадиров Ф.А., Сафаров Р.Т. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле, No. 1, 2013, с. 47-55.
- Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н., Хоштария В.Н. Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов. Нефтяное хозяйство, No. 8, 2017, с. 36-41.
- Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н. Литолого-геохимическая характеристика низкопроницаемых сланцевых толщ (на примере хадумской свиты Предкавказья). Горный журнал, No. 7, 2021, с. 28-33.
- Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O. Dangerous gas-saturated objects in the waters of the World Ocean: the Sea of Okhotsk. Neftyanoe Khozyaystvo, No. 6, 2016, pp. 43-47 (in Russian).
- Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R., Kargina T., Chuvilin E., Bukhanov B., Umnikov A. New catastrophic gas blowout and giant crater on the Yamal Peninsula in 2020. Results of the expedition and data processing. Geosciences, Vol. 11, No. 71, 2021, <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences11020071>.
- Bogoyavlensky V.I., Sizov O.S., Nikonov R.A., Bogoyavlensky I.V., Kargina T.N. Earth degassing in the Arctic: the genesis of natural and anthropogenic methane emissions. Arctic: Ecology and Economy, No. 3(39), 2020, pp. 6-22 (in Russian).
- Buachidze G.I., Mkhaidze B.S. Natural gases of Georgia. Metsniereba. Tbilisi, 1989, 155 p. (in Russian).
- Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring 2018, from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- Chelidze T.L. Thermodynamic conditions and petrophysical models of sections of the Caucasus earth's crust. In: The structure of the earth's crust of the Georgia territory according to seismic and magnetic data. Metsniereba. Tbilisi, 1983, pp. 97-115 (in Russian).
- Dadashev F.G. Gas content of the productive strata of the South-Eastern Caucasus. Elm. Baku, 1970, 150 p. (in Russian).
- Dadashev F.G., Guliyev I.S. Gas content of Meso-Cenozoic deposits and prospecting for new gas fields in the South Caspian Basin. In: Essays on the geology of Azerbaijan. Azerneshr. Baku, 1984, pp. 126-147 (in Russian).
- Dadashev F.G., Guliyev I.S., Feyzullaev A.A. Geotectonic and geochemical features of the Earth degassing within geosynclinal regions. In: Earth degassing and geotectonics. Proceedings of the All-Union Symposium. Moscow, 1980, pp. 116-123 (in Russian).
- Friedlingstein P., Jones M.W. et al. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data, Vol. 11, 2019, pp.1783-1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>.
- Hsueh D.Y., Krakauer N.Y. et al. Regional patterns of radiocarbon and fossil fuel-derived CO<sub>2</sub> in surface air across North America. Geophysical Research Letters, Vol. 34, L02816, 2007.
- Galimov E.M. Geochemistry of stable carbon isotopes. Nedra. Moscow, 1968, 226 p. (in Russian).
- Galimov E.M. Isotopes of carbon in oil and gas geology. Nedra. Moscow, 1973, 384 p. (in Russian).
- Gemp S.D., Dubrova N.V., Nesmelova Z.N. Isotope composition of carbon in carbon-containing gases (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) mud volcanoes of the Kerch-Taman region. Geochemistry, No. 2, 1970, pp. 243-247 (in Russian).
- Geology of Azerbaijan. Vol. VII – Oil and gas. Nafta-Press. Baku, 2008, 672 p. (in Russian).
- Glumov I.F., Malovitsky Ya.P., Novikov A.A. Regional geology and oil and gas potential of the Caspian Sea. Nedra-Business Center. Moscow, 2004, 342 p. (in Russian).
- Guliyev I.S. Zonality of natural gases of Azerbaijan and gas-geochemical prospecting for oil and gas. Abstract of PhD dissertation (geology), Moscow, 1978, 24 p. (in Russian).
- Guliyev I.S., Kerimov V.Yu. Hydrocarbon degassing of the Earth: monitoring, scale and geoecological consequences. Actual problems of oil and gas. Vol. 4(23), 2018, 79 p. (in Russian).
- Guliyev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mустаев R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea – Caspian Region. Geotectonics, No. 55, 2021, pp. 393-407.

- Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С., Яндарбиев Н.Ш., Козлова Е.В. Перспективы поисков скоплений углеводородов в сланцевых низкопроницаемых толщах Хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство, No. 10, 2015, с. 50-53.
- Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Монова А.С. Моделирование углеводородных систем в регионах со сложным геологическим строением. 16<sup>th</sup> Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014. DOI:10.3997/2214-4609.20142245.
- Керимов В.Ю., Шилов Г.Я., Мустаев Р.Н., Дмитриевский С.С. Термобарические условия формирования скопленных углеводородов в сланцевых низкопроницаемых коллекторах хадумской свиты Предкавказья. Нефтяное хозяйство, No. 2, 2016, с. 8-11.
- Клубков С., Емельянов К., Зотов Н. CCUS: монетизация выбросов CO<sub>2</sub>. VYCON Consulting, No. 8, 2021, 48 с.
- Лаврушин В.Ю. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления ГЕОС. Москва, 2012, 348 с.
- Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г. Источники углеводородных газов в грязевых вулканах СНГ. Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. ГЕОС. Москва, 1997, с. 67-70.
- Пантелеев И.Я. Углекислые минеральные воды Северного Кавказа. АН СССР. Москва, 1963, 190 с.
- Метц Б., Дэвидсон О., де Конинк Х., Лоос М., Мейер Л. (под ред.). Улавливание и хранение двуокиси углерода. Специальный доклад МГЭИК. 2005, 60 с.
- Успенский А.Б. Измерения полей концентрации парниковых газов в атмосфере со спутников. Доклад на семинаре Института космических исследований РАН. ФГБУ «НИЦ «Планета», Росгидромет, Москва, 2021.
- Хан С.А. Анализ мировых проектов по захоронению углекислого газа. Георесурсы, Т. 4(36), 2010, с. 55-62.
- Цогоев В.Б. Гидроминеральные ресурсы Северной Осетии. Издательство Ир. Орджоникидзе, 1969, 419 с.
- Челидзе Т.Л. Термодинамические условия и петрофизические модели участков земной коры Кавказа. В книге: Структура земной коры территории Грузии по сейсмическим и магнитным данным. Мецниереба. Тбилиси, 1983, с. 97-115.
- Bogoyavlensky V., Bogoyavlensky I., Nikonov R., Kargina T., Chuvilin E, Bukhanov B., Umnikov A. New catastrophic gas blowout and giant crater on the Yamal Peninsula in 2020. Results of the expedition and data processing. Geosciences. Vol. 11, No. 71, 2021, <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences11020071>.
- Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring 2018, from <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- Friedlingstein P., Jones M.W. et al. Global Carbon Budget 2019. Earth Syst. Sci. Data, Vol. 11, 2019, pp.1783-1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>.
- Guliev I.S., Kerimov V.Y., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaeв R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea – Caspian Region. Geotectonics, No. 55, 2021, pp. 393-407.
- Gurbanov V.Sh., Hasanov A.B., Abbasova G.G. The stochastic character of distribution of granulometric content and fractality of porous structure in oil reservoirs. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 2, 2019, pp. 54-60.
- Hsueh D.Y., Krakauer N.Y. et al. Regional patterns of radiocarbon and fossil fuel-derived CO<sub>2</sub> in surface air across North America. Geophysical Research Letters, Vol. 34, L02816, 2007, DOI:10.1029/2006GL027032.
- Javadova A.S. Petroleum source rock characterization and hydrocarbon generation, Baku archipelago, South Cas-
- Guliev I.S., Mustaeв R.N., Kerimov V.Y., Yudin M.N. Degassing of the Earth: scale and implications. Gornyi Zhurnal, No. 11, 2018, pp. 38-42 (in Russian).
- Gurbanov V.Sh., Hasanov A.B., Abbasova G.G. The stochastic character of distribution of granulometric content and fractality of porous structure in oil reservoirs. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 2, 2019, pp. 54-60.
- Ivanov V.V., Guliyev I.S. Mass transfer, hydrocarbon formation and phase transitions in sedimentary basins. Nafta-Press. Baku, 2002, 108 p. (in Russian).
- Javadova A.S. Petroleum source rock characterization and hydrocarbon generation, Baku archipelago, South Caspian basin. ANAS Transactions, Earth Sciences, No.1, 2021, pp. 29-42.
- Kadirov F.A., Safarov R.T. Earth's crust deformation in Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements. Proceedings of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Earth Sciences, No. 1, 2013, pp. 47-55 (in Russian).
- Kerimov V.Y., Bondarev A.V., Mustaeв R.N., Khoshtariya V.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. Neftyanoe Khozyaystvo, No. 8, 2017, pp. 36-41 (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Kosyanov V.A., Mustaeв R.N. Great depths in the crust – peculiarities of hydrocarbon generation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 459, No. 4, pp. 042-090, 2020, DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042090 (a).
- Kerimov V.Y., Leonov M.G., Mustaeв R.N. Structural-tectonic model of hydrocarbons formation in the basement of the Vietnam shelf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 459(4), pp. 042-091, 2020b, DOI:10.1088/1755-1315/459/4/042091.
- Kerimov V.Y., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaeв R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics, Vol. 53, No. 1, 2019, pp. 42-59, DOI:10.1134/S0016852119010035.
- Kerimov V.Y., Mustaeв R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences. Vol. 483, Part 1, 2018, pp. 1413-1417.
- Kerimov V.Yu., Mustaeв R.N. Lithological and geochemical characterization of low-permeability shale strata (A-case-study of khadum formation in Ciscaucasia). Gornyi Zhurnal, No. 7, 2021, pp. 28-33 (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Mustaeв R.N., Dmitrievsky S.S., Yandarbiev N.Sh., Kozlova E.V. The shale hydrocarbons prospects in the low permeability khadum formation of the Pre-Caucasus. Neftyanoe Khozyaystvo, No. 10, 2015, pp. 50-53 (in Russian).
- Kerimov V.Y., Osipov A.V., Mustaeв R.N., Monakova A.S. Modeling of petroleum systems in regions with complex geological structure. 16th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, GEOMODEL 2014. DOI:10.3997/2214-4609.20142245 (in Russian).
- Kerimov V.Yu., Shilov G.Ya., Mustaeв R.N., Dmitrievsky S.S. Thermobaric conditions of hydrocarbons accumulations formation in the shale low-permeability oil reservoirs of khadum suite of the Ciscaucasia. Neftyanoe Khozyaystvo, No. 2, 2016, pp. 8-11 (in Russian).
- Khan S.A. Analysis of global carbon storage projects. Georesources. Vol. 4(36), 2010, pp. 55-62. (in Russian).
- Klubkov S., Emelyanov K., Zotov N. CCUS: monetization of CO<sub>2</sub> emissions. VYCON Consulting, No. 8, 2021, 48 p. (in Russian).
- Lapidus A.L., Kerimov V.Y., Mustaeв R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry, Vol. 52, No. 6, 2018, pp. 344-355.
- Lavrushin V.Yu. Subsurface fluids of the Greater Caucasus and its surrounding. GEOS. Moscow, 2012, 348 p. (in Russian).

- pian basin. ANAS Transactions, Earth Sciences, No.1, 2021, pp. 29-42.
- Kerimov V.Yu., Kosyanov V.A., Mustaev R.N. Great depths in the crust – peculiarities of hydrocarbon generation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 459, No.4, 2020a, pp. 042-090, DOI:10.1088/1755-1315/459/4/042090.
- Kerimov V.Y., Leonov M.G., Mustaev R.N. Structural-tectonic model of hydrocarbons formation in the basement of the Vietnam shelf. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 459(4), pp. 042-091, 2020b, DOI:10.1088/1755-1315/459/4/042091.
- Kerimov V.Y., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics, Vol. 53, No. 1, 2019, pp. 42-59, DOI:10.1134/S0016852119010035.
- Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences, Vol. 483, Part 1, 2018, pp. 1413-1417.
- Lapidus A.L., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry, Vol. 52, No. 6, 2018, pp. 344-355.
- Mustaev R.N., Kerimov Y.V., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 – 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, 2016, DOI:10.3997/2214-4609.201602185.
- Saunio M., Stavert A.R., Poulter B. et al. The global methane budget 2000-2017. Earth System Science Data, 2019, 136 p.
- Senin B.V., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Aliyeva S.A. Lithological and paleogeographic conditions for the formation and location of sedimentary basins of the Caspian region. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2021, pp. 16-28.
- Shibata S., Kawano E., Nakabayashi T. Atmospheric [14C] CO<sub>2</sub> variations in Japan during 1982–1999 based on 14C measurements of rice grains. Applied Radiation and Isotopes, Vol. 63, No. 2, 2005, pp. 285-290.
- Sutton M.A., Bleeker A., Howard C.M. et al. Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution. Centre for Ecology and Hydrology. Edinburgh, UK, 2013, 114 p., <http://www.inms.international/sites/inms.international/files/ONW.pdf>.
- The energy report: 100 % renewable energy by 2050. WWF, 2011, 253 p.
- Lavrushin V.Yu., Polyak B.G. Sources of carbon-containing gases in mud volcanoes of the CIS. New ideas in geology and geochemistry of oil and gas. GEOS. Moscow, 1997, pp. 67-70 (in Russian).
- Metz B., Davidson O., de Conink H., Loos M., Meyer L. Carbon dioxide capture and storage. IPCC Special Report. 2005, 60 p.
- Mustaev R.N., Kerimov Y.V., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 – 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development, 2016, DOI:10.3997/2214-4609.201602185.
- Pantelev I.Ya. Carbonated waters of the North Caucasus. Academy of Sciences of the USSR. Moscow, 1963, 190 p. (in Russian).
- Saunio M., Stavert A.R., Poulter B. et al. The global methane budget 2000-2017. Earth System Science Data, 2019, 136 p.
- Senin B.V., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Aliyeva S.A. Lithological and paleogeographic conditions for the formation and location of sedimentary basins of the Caspian region. ANAS Transactions, Earth Sciences, No. 1, 2021, pp. 16-28.
- Shibata S., Kawano E., Nakabayashi T. Atmospheric [14C] CO<sub>2</sub> variations in Japan during 1982–1999 based on 14C measurements of rice grains. Applied Radiation and Isotopes, Vol. 63, No. 2, 2005, pp. 285-290.
- Sutton M.A., Bleeker A., Howard C.M. et al. Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution. Centre for Ecology and Hydrology. Edinburgh, UK, 2013, 114 p., <http://www.inms.international/sites/inms.international/files/ONW.pdf>.
- The energy report: 100 % renewable energy by 2050. WWF, 2011, 253 p.
- State Statistical Committee of the Azerbaijan Republic. 2022, [https://www.stat.gov.az/source/balance\\_fuel/lang=en](https://www.stat.gov.az/source/balance_fuel/lang=en).
- The energy report: 100 % renewable energy by 2050. WWF, 2011, 253 p.
- Tsogoev V.B. Hydromineral resources of North Ossetia. Ir publishing house. Ordzhonikidze, 1969, 419 p. (in Russian).
- Uspensky A.B. Measurements of greenhouse gas concentration fields in the atmosphere from satellites. Report on the Seminar of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Federal State Budgetary Institution “Research Center “Planeta”, Roshydromet. Moscow, 2021 (in Russian).
- Valyayev B.M., Grinchenko Yu.I., Erokhin V.E. Isotope appearance of gases of mud volcanoes. Lithology and Minerals, No. 1, 1985, pp. 72-87 (in Russian).
- WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 15 dated 25 November 2019 (in Russian).

## ГЕОГРАФИЯ И МАСШТАБЫ ДЕГАЗАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Керимов В.Ю.<sup>1,2</sup>, Абдуллаева В.К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт нефти и газа Национальной академии наук Азербайджана  
AZ1000, Баку, Азербайджан, ул. Ф. Амирова, д. 9: [vagif.kerimov@mail.ru](mailto:vagif.kerimov@mail.ru)

<sup>2</sup>Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,  
117997, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 23

<sup>3</sup>Азербайджанский университет нефти и промышленности  
AZ1010, Баку, Азербайджан, просп. Азадлыг, 16/21

**Резюме.** В статье рассмотрены условия и масштабы дегазации на территории Азербайджана. Показана структура выбросов парниковых газов и динамика выбросов диоксида углерода CO<sub>2</sub>, метана CH<sub>4</sub> и оксида азота N<sub>2</sub>O генерируемых из стационарных источников. Проведенные исследования позволили определить географию дегазации парниковых газов и объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по компонентам. Проанализировано, что антропогенные выбросы парниковых газов, генерируемые стационарными источниками в Азербайджане, образуются в результате производственной деятельности ряда отраслей, таких как добыча полезных ископаемых; обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; обрабатывающие производства; водоснабжение; очистка сточных вод; строительная индустрия; сельское и лесное хозяйство; транспорт, хранение и связь; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов и другие

виды деятельности. Доля предприятий топливно-энергетического комплекса, выбрасывающих парниковые газы и загрязняющих атмосферу, составляет около 60 %. Последние исследования свидетельствуют, что на территории Азербайджана наряду с антропогенной дегазацией активная роль принадлежит также глубинной и коровой дегазации Земли. Для мониторинга выбросов в атмосферу парниковых газов в результате природных явлений (дегазации Земли) и антропогенной деятельности, рекомендуется внедрение трехуровневой системы мониторинга, диагноза и прогноза включающей: космический мониторинг, мониторинг естественных газонефтепроявлений на суше и море; мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов; мониторинг подземной геологической среды; геохимические исследования; мониторинг концентрации газов с помощью лазерной абсорбционной спектроскопии и технологии распределенных сенсорных сетей.

**Ключевые слова:** Азербайджан, дегазация Земли, долгоживущие парниковые газы, диоксид углерода, оксид азота, антропогенные выбросы газа, глубинная, коровые геофлюидодинамические системы

## AZƏRBAYCANDA İSTİXANA QAZLARININ COĞRAFİYASI VƏ MİQYASI

Kərimov V.Y.<sup>1,2</sup>, Abdullayeva V.K.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının (AMEA) Neft və Qaz institutu, AZ 1000, Bakı, Azərbaycan, F.Əmirov küçəsi, ev 9: vagif.kerimov@mail.ru

<sup>2</sup>Serqo Orconikidze adına Rusiya dövlət geoloji-kəşfiyyat universiteti, (MGKU), 117997, Moskva, Rusiya, Mikluxo-maklay küç. Ev. 23.

<sup>3</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti AZ1010, Azərbaycan, Bakı şəh., Azadlıq pros., 16/21

**Xülasə.** Məqalədə Azərbaycan ərazisində deqazasiyanın şəraitləri və miqyası məsələlərinə baxılmışdır. Parnik qazlarının atılma strukturu və CO<sub>2</sub> – karbon dioksidin, CH<sub>4</sub> - metan və azot oksidinin - N<sub>2</sub>O Azərbaycan ərazisində daimi mənbələrdən generasiya olunan atılma dinamikası göstərilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar Azərbaycan ərazisində parnik qazlarının yayılma coğrafiyasını və atmosferə komponentlər üzrə çirkləndirici maddələrin atılma həcmi təyin etməyə imkan vermişdir. Təhlil edilmişdir ki, Azərbaycanda daimi mənbələrdən generasiya olunan parnik qazlarının antropogen atılmaları – faydalı qazıntıların çıxarılması, elektrik enerjisi, qaz və buxarla təminat; havanın kondisionlaşdırılması, emal müəssisələri, su təchizatı; çirkab suların təmizlənməsi; tikinti sənayesi; kənd və meşə təsərrüfatı; nəqliyyat, saxlanılma və rabitə, avtonəqliyyat vasitələri və motosikllərin təmiri və digər fəaliyyət növləri bir sıra sahələrin sənaye işlənilməsi nəticəsində əmələ gəlir. Parnik qazlarını tullayan və atmosferi çirkləndirən yanacaq-enerji kompleksi müəssisələrinin payı 60%-ə bərabərdir. Son tədqiqatlar göstərir ki, Azərbaycan ərazisində antropogen deqazasiya ilə yanaşı, dərinlik və yer qabığı deqazasiyaya aktiv rol məxsusdur.

**Açar sözlər:** Azərbaycan, Yer in deqazasiyası, uzunömürlü parnik qazları, karbon dioksidi, qazın antropogen atılmaları, dərinlik, qabıq geoflüid-dinamiki sistemlər