



УДК 556.364(470.67)

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД СЕВЕРНОГО ДАГЕСТАНА ОТ ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

TECHNOLOGY OF CLEANING LOW-POTENTIAL ARTESIAN WATERS OF NORTH DAGESTAN FROM TOXIC COMPOUNDS

А.Г. Каймаразов

A.G. Kaymarazov

Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра Российской академии наук
пр. Шамиля, 39а, Махачкала 367030 Россия
Institute for Geothermal Researchers of Dagestan Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
Shamil ave., 39a, Makhachkala 367030 Russia

Резюме. Обсуждаются проблемы и технологические решения по очистке и умягчению низкопотенциальных артезианских вод Северного Дагестана, перспективных для использования в системах геотермального теплоснабжения и в качестве источника питьевой воды. Предлагаемый метод позволяет решить проблему одностадийной очистки вод от соединений мышьяка и гумусовых кислот. Метод опробован в отношении подземных вод Дагестана, наиболее загрязненных мышьяком.

Annotation. The problems and technological solutions have been considered for the demineralization and cleaning of the low-potential artesian waters of North Dagestan, promising for using in the systems of geothermal hot water supply and as a source of drinking water. The proposed method allows the problem of single-stage cleaning waters from arsenic compounds and humic acids. This method has been tested on Dagestan artesian waters, which contained arsenic in an amount significantly exceeding a standard value for such pollutant.

Abstract. This study is aimed at decision of important socio-economic problems, such as heat and water supply to the population of the arid zones of Northern Dagestan based on complex use of low-potential geothermal waters' reserves.

Arsenic compounds and humic acids was found in the most studied waters in amounts far exceeding World Health Organization (WHO) limiting rate for drinking water by spectral analysis methods (AAS, SPM). The sorbent based on DEAE-cellulose modified with Fe^{3+} ions was prepared and tested by us for cleaning of the waters containing the arsenic compounds in an amount of more than 700 mcg/dm³ and humic acids in an amount approximately equal to 200 mg/dm³. This method has been successfully applied for the demineralization and cleaning of artesian waters in Kizlyarskiy, Tarumovskiy and Babayurtovskiy areas of Dagestan Republic to produce pure water complied with drinking water quality specification.

Further studies, in our opinion, should be carried out in two directions, namely, coverage of new adjacent territories to study the mineral composition and identification of pollutants of underground drinking water of the North Caucasus region of Russia, as well as the creation of new efficient methods of purification of artesian water with a wider range of their pollutants.

Ключевые слова: низкопотенциальные геотермальные ресурсы, подземные воды, мышьяк, гумусовые кислоты, сорбционные методы очистки вод.

Key words: low potential geothermal resources, underground waters, arsenic compounds, humic acids, adsorption methods for cleaning waters.

Комплексный подход в освоении энергетического и водоресурсного потенциала низкопотенциальных вод (НПВ) будет способствовать решению одной из важных народнохозяйственных задач экономики республики по обеспечению населения Северного Дагестана теплом и водой для различных хозяйственных нужд.

Широкое внедрение теплонасосных систем теплоснабжения (ТНТ) представляется сегодня наиболее перспективным направлением в обеспечении децентрализованного потребителя тепла дополнительной энергией. Привлекательность этих технологий заключается прежде всего в относительно простом аппаратном оформлении ТНТ, небольших сроках окупаемости, в высокой рентабельности ввиду возможности их обустройства в регионе с использованием фонда простаивающих и бесконтрольно изливающихся артезианских скважин на НПВ (Алхасов, 2008). Поэтому реализация масштабного проекта создания ТНТ на основе указанных низкопотенциальных гидротермальных ресурсов позволит в комплексе решить и проблемы, связанные с вероятными экологическими рисками при освоении НПВ, разработать пути их минимизации и предотвращения.

Для абсолютного большинства населения аридных территорий региона воды Северно-Дагестанского артезианского бассейна (СДАБ) являются единственным источником питьевого водоснабжения, но содержание мышьяка в них может до 80 раз превы-



шать лимитирующий показатель ВОЗ по этому опасному токсиканту.

Системными исследованиями состава и свойств НПВ равнинного Дагестана, осуществляемыми специалистами Института проблем геотермии ДНЦ РАН на протяжении последних лет, охвачены территории Ногайского, Тарумовского, Кизлярского, Бабаюртовского, Хасавюртовского, Кумторкалинского и Кизилюртовского районов РД, на которых обследовано свыше 250 скважин в 70 населенных пунктах республики. Мышьяк установлен в составе артезианских вод более чем 200 скважин, а для большинства обследованных НПВ (более 180 скважин) отмечены концентрации, заметно превышающие (от 2 до 8 раз) значение ПДК для мышьяка: 50 мкг/дм^3 (Алхасов и др., 2012; Алхасов, Каймарзов, 2012).

Надежно установлен факт накопления соединений мышьяка в местах неконтролируемого разлива скважинных вод в грунтах и в растительности почвенного покрова, что указывает на высокую вероятность включения мышьяка в трофические цепи питания и, как следствие, на возможность его попадания в организм человека также и с едой (Каймарзов и др., 2010). Именно с повышенным содержанием мышьяка в питьевой воде специалисты связывают целый ряд заболеваний эндемического характера у населения республики (Абдурахманов и др., 2009).

Нашими исследованиями установлено, что еще одним показателем «некондиционности» питьевых артезианских вод значительной части обследованных скважин СДАБ является фактор высокой цветности (до 200 градусов и выше), обусловленной главным образом присутствием гумусовых кислот (ГК) и на их фоне значительным фенольным индексом. С использованием ионообменных смол (анионообменника – ДЭАЭ целлюлозы и катионита КБ-4П-2) проведено концентрирование и выделение ГК из представительной пробы ($\sim 50 \text{ дм}^3$) НПВ с. Кордоновка (скв. № 4Т, Кизлярский р-н РД) и методом фотометрического определения (Семенова, 1978) оценено содержание ГК, составляющее $150\text{--}200 \text{ мг/дм}^3$.

В ходе лабораторного эксперимента была разработана и апробирована схема очистки артезианских вод с. Кордоновка Кизлярского района РД от мышьяка и ГК с одновременным умягчением воды с целью последующего внедрения ТНТ для обеспечения населения с. Кордоновка теплом и чистой водой (Алхасов, Каймарзов, 2012, 2013).

В основу способа очистки НПВ были положены осадительные методы с использованием хлорида железа (III) с молярным соотношением $\text{As(III)} : \text{Fe(III)} = 1:100$ и выше, что позволило практически мгновенно достичь требуемой степени очистки вод от мышьяка. Несмотря на очевидные достоинства разработанной схемы – очистка на уровне следовых количеств As, низкие затраты на реагенты, принципиальная возможность их производства из местного сырья и др., – внедрение данной технологии, ориентированной на масштабного потребителя воды, сопряжено с экологическими рисками, обусловленными концентрированием элемента в шламе в количествах, значительно превышающих дозы летального исхода (ЛД_{50}).

Поэтому с целью минимизации подобных рисков в институте развиваются новые направления по созданию технологий очистки небольших объемов (3–5 л) мышьяк-содержащих вод, ориентированных на индивидуального потребителя, с тем чтобы сконцентрированный токсикант ни при каких условиях не достигал бы величины ЛД_{50} .

Так, нами разработан метод очистки природных (подземных) вод с высокой степенью цветности (100 и более градусов) от соединений мышьяка и ГК с использованием анионообменника – ДЭАЭ целлюлозы (ДЭАЭЦ) – селективного к высокомолекулярным природным олигомерам с $M > 100\,000$ с фенилгидроксильными группами с окклюзированными и свежесажженными на поверхности ДЭАЭЦ ионами Fe^{3+} .

Предлагаемое решение позволяет в одну стадию очистить воду с помощью ДЭАЭЦ от мышьяка и гумусовых кислот, –ОН и –СООН группы которых являются лигандами для ионов Fe^{3+} , необратимо связывающих арсенат-ионы. В свою очередь способность ионов железа (III) к координации по электронным парам атомов аминного азота



ДЭАЭЦ указывает на возможность захвата анионов мышьяка подобным Fe-модифицированным анионообменником-сорбентом параллельно с процессом сорбции ГК и их металлокомплексов (Магандалиев и др., 2013).

Разработанная технологическая схема умягчения и очистки НПВ, как и в случае осадительной технологии (Алхасов, 2008; Алхасов, Камаразов, 2012), апробирована в масштабе лабораторного эксперимента по очистке наиболее загрязненных мышьяком (до 320 мкг/дм³) артезианских вод СДАБ, в том числе скв. с. Львовское 6 и скв. № 26/55 на трассе Махачкала – Новая Коса (Бабаюртовский р-н), скв. № 5 ж/д станции Кочубей и скв. № 13Т с. Тарумовка (Тарумовский р-н), скв. № 4Т с. Кордоновка и скв. с/х им. Шаумяна (Кизлярский р-н), скв. № 5/82 с. Терекли-Мектеб (Ногайский р-н), высокое содержание As и ГК в которых подтверждены режимными наблюдениями, выполненными в 2010–2013 годах (табл. 1).

В серии опытов (табл. 2) использован оптимизированный вариант конструкции сорбционной колонны, в котором совмещены два слоя ДЭАЭЦ: свободный (нижний) и модифицированный ионами железа (III) (верхний); при этом экспериментально подтвержден ранее установленный факт (Магандалиев и др., 2013), свидетельствующий о постепенной пассивации активных центров ДЭАЭ-целлюлозы вследствие необратимой адсорбции мышьяка: до 50 масс. % мышьяка, извлеченного из проб НПВ, сохраняется на сорбенте, прошедшем регенерацию.

Таблица 1

**Состав НПВ Северо-Дагестанского артезианского бассейна
с повышенным содержанием мышьяка
(по данным экспедиционных исследований ИПГ ДНЦ РАН, 2011–2013).**

Дата режимных наблюдений	Температура, градусы	pH	Сухой остаток, мг/л	Жесткость мг-экв/л общая	Основные химические компоненты, мг/л						As, мкг/л
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻ (CO ₃ ²⁻)	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	
сква 5/82, с.Терекли-Мектеб (Ногайский р-н)											
19.05.2011	38	8,1	423	1,38	16,0	9,6	133,0	283,0	16,7	32,8	136
30.05.2012	45	7,6	450	1,42	14,4	8,5	127,0	312,0	20,1	42,0	158
21.05.2013	60	8,2	391	1,38	14,0	8,3	102,8	274,8	15,9	28,1	147
сква с/х им. Шаумяна (Кизлярский р-н)											
10.11.2010	45	8,0	788	1,50	21,0	5,5	270,0	725,9	19,5	1,5	234
19.05.2011	72	7,8	820	1,56	22,0	5,6	277,6	740,2	22,4	6,5	202
04.10.2012	38	7,7	806	1,60	24,1	4,9	270,7	731,6	19,6	4,8	235
сква № 4Т, с.Кордоновка (Кизлярский р-н)											
10.11.2010	195	8,3	1712	2,05	17,0	14,5	597,5	1037,0	331,0	37,0	287
19.05.2011	245	8,0	1711	1,96	10,8	17,3	714,6	1232,0	325,0	78,3	217
21.05.2013	215	8,1	1635	0,60	7,6	2,7	655,0	1035,8	332,6	26,0	335
сква с.Львовское 6 (Бабаюртовский р-н)											
19.05.2011	52	8,0	608	1,38	11,0	12,5	275,8	664,9	30,7	12,0	271
25.07.2012	45	7,9	630	1,72	14,4	12,2	271,2	696,3	34,2	16,3	312
04.10.2012	69	8,2	645	1,48	11,6	10,9	280,0	702,2	38,1	11,0	248
сква № 26/55, автодорога Махачкала - Новая Коса (Бабаюртовский р-н)											
19.05.2011	49	7,5	702	1,29	5,4	12,3	324,0	817,7	36,7	3,6	328
25.07.2012	51	8,2	740	2,92	6,1	6,1	237,0	588,0	30,0	8,4	290
04.10.2012	62	8,2	685	0,80	5,2	6,7	354,2	793,0	78,3	1,8	711
сква №5, ж/д ст. Кочубей (Тарумовский р-н)											
19.05.2011	63	7,8	753	0,98	9,6	6,08	375	884,5	61,3	1,3	301
30.05.2012	60	8,0	710	1,26	12,1	8,0	357	860,1	54,4	3,6	320
21.05.2013	48	7,7	726	1,35	12,9	8,5	370	882,4	59,0	8,1	269
сква № 13Т, с.Тарумовка (Тарумовский р-н)											
19.05.2011	122	7,5	605	0,83	7,4	5,6	186	417,9	19,5	33,5	300
04.10.2012	108	7,8	640	1,23	8,6	9,6	207,7	480,2	36,4	40,1	234
21.05.2013	112	7,6	592	0,79	5,8	6,1	168,9	395,4	20,1	28,0	280

Дальнейшие стадии очистки НПВ осуществляли на унифицированной водоочистительной установке напорного типа ВД-ТМ 205 Fex2, укомплектованной фильтрами и трековыми мембранами ООО «ЭкоМембраны», ООО «Акватория» и ООО «Посейдон» (рис. 1, 8–12).

Достигнутая степень очистки вод от мышьяка – величина адсорбционной емкости по мышьяку составила от 287,7 до 342,9 мкг/г, – позволяет сделать вывод о том, что предлагаемый способ очистки сопоставим по эффективности с ранее разработанной тех-



нологической схемой умягчения и очистки питьевых артезианских вод, ориентированной на масштабного потребителя (Алхасов и др., 2012; Алхасов, Каймаразов, 2012). Предлагаемые технологические решения позволяют эффективно очищать мышьяксодежащие артезианские воды, сработанные в теплонасосных установках теплоснабжения, с доведением их качества до кондиции питьевой воды, а именно снизить содержание мышьяка до следовых количеств, содержание Fe^{3+} -катионов до $0,1 \text{ мг/дм}^3$, достичь снижения цветности вод до регламентируемого значения, $18-20^\circ$, и многократно снизить показатель общей жесткости.

Таблица 2

Очистка скважинных вод Северо-Дагестанского артезианского бассейна, наиболее загрязненных мышьяком, на Fe-модифицированным анионообменнике – ДЭАЭ целлюлоза – в динамических условиях с двухслойной конструкцией сорбционной колонны.

Контролируемый параметр	Характеристика НПВ и i-объемы очищаемой пробы (условия процесса адсорбции)												
НПВ с.Горькие-Мактоб (ска. №5/82); ($m_{\text{адс}} = 2,260 \text{ г}$; $m_{\text{десорб}} = 2 \text{ г}$; $m_{\text{ж}} = 0,26 \text{ г}$; 500-кратный избыток жидкой Fe^{3+} ; объем пробы $\sim 5,0 \text{ л}$; $v \sim 100 \text{ мл/час}$)													
№ пробы	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	100
pH	8,7	9,3	9,1	9,0	9,2	9,1	9,0	8,8	9,0	9,1	9,0	8,8	8,9
Цветность, град	38	14	15	14	16	17	18	21	22	20	25	26	24
Ас, мг/л	136,0	м/обн	м/обн	м/обн	2,1	2,8	1,9	м/обн	м/обн	1,4	2,1	1,8	5,1
Степень адсорбции, %	0	100	100	100	98,5	98,0	98,6	100	100	99,0	98,5	98,7	96,3
Г, мг/г; $m_{\text{адс}} 2,260 \text{ г}$	0	12,0	24,0	36,1	48,0	59,9	71,8	83,8	95,8	107,7	119,6	131,5	146,0
№ пробы	108	116	124	132	140	148	156	164	172	180	188	196	200
pH	8,9	9,0	9,0	9,2	9,2	9,4	9,3	9,3	9,2	9,1	9,1	9,0	9,2
Цветность, град	25	25	26	24	26	27	25	25	27	24	26	26	26
Ас, мг/л	3,6	4,8	4,9	5,6	7,1	м/обн	8,9	9,5	8,2	11,2	12,1	13,8	14,3
Степень адсорбции, %	97,4	96,5	96,4	95,9	94,8	100	93,5	93,0	94,0	91,8	91,1	89,9	89,5
Г, мг/г; $m_{\text{адс}} 2,260 \text{ г}$	157,7	169,3	180,9	192,4	203,8	215,8	227,0	238,2	249,5	260,5	271,5	282,3	287,7
НПВ с/х Шушант; ($m_{\text{адс}} = 2,260 \text{ г}$; $m_{\text{десорб}} = 2 \text{ г}$; $m_{\text{ж}} = 0,26 \text{ г}$; 400-кратный избыток жидкой Fe^{3+} ; объем пробы $\sim 4,0 \text{ л}$; $v \sim 100 \text{ мл/час}$)													
№ пробы	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	100
pH	8,0	8,6	8,4	8,6	8,5	8,6	8,4	8,4	8,3	8,3	8,2	8,2	8,2
Цветность, град	45	17	15	14	16	16	15	17	17	18	19	18	22
Ас, мг/л	224,0	м/обн	4,4	6,1	7,8	8,6	9,9	10,4	12,8	14,4	16,6	18,8	22,9
Степень адсорбции, %	0	100	98,0	97,3	96,5	96,2	95,6	95,4	94,3	93,6	92,6	91,6	89,8
Г, мг/г; $m_{\text{адс}} 2,260 \text{ г}$	0	19,8	39,2	58,5	77,6	96,7	115,8	134,7	153,4	171,9	190,1	208,3	230,5

Контролируемый параметр	Характеристика НПВ и i-объемы очищаемой пробы (условия процесса адсорбции)												
№ пробы	108	116	124	132	140	148	156						
pH	8,2	8,4	8,7	8,6	8,7	8,4	8,3						
Цветность, град	23	25	24	26	26	27	29						
Ас, мг/л	25,4	27,1	34,0	39,9	48,5	57,2	66,2						
Степень адсорбции, %	88,7	87,9	84,8	82,2	78,3	74,4	70,4						
Г, мг/г; $m_{\text{адс}} 2,260 \text{ г}$	248,1	265,5	282,3	298,6	314,1	328,9	342,9						

НПВ с.Карповка (ска. №4Т); ($m_{\text{адс}} = 2,260 \text{ г}$; $m_{\text{десорб}} = 2 \text{ г}$; $m_{\text{ж}} = 0,26 \text{ г}$; 400-кратный избыток жидкой Fe^{3+} ; объем пробы $\sim 2,5 \text{ л}$; $v \sim 100 \text{ мл/час}$)													
№ пробы	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	100
pH	9,2	10,1	9,5	9,3	9,2	9,2	9,0	8,9	9,2	9,3	9,3	9,3	9,3
Цветность, град	250	14	20	20	20	22	27	27	40	48	54	58	65
Ас, мг/л	360,0	15,1	1,5	2,3	9,2	3,4	40,2	82,5	144,8	177,4	123,1	100,8	130,1
Степень адсорбции, %	0	95,8	99,6	99,3	97,4	99,1	88,8	77,1	59,8	50,8	65,8	72,0	58,3
Г, мг/г; $m_{\text{адс}} 2,260 \text{ г}$	0	30,5	62,2	93,9	124,9	156,5	184,7	209,3	228,3	244,5	265,5	288,4	311,6

НПВ м/сл. Кочубей (ска. №3); ($m_{\text{адс}} = 2,260 \text{ г}$; $m_{\text{десорб}} = 2 \text{ г}$; $m_{\text{ж}} = 0,26 \text{ г}$; 450-кратный избыток жидкой Fe^{3+} ; объем пробы $\sim 2,5 \text{ л}$; $v \sim 100 \text{ мл/час}$)													
№ пробы	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	100
pH	7,8	8,5	8,5	8,3	8,2	8,4	8,4	8,5	8,5	8,4	8,5	8,6	8,7
Цветность, град	65	16	18	18	20	22	24	27	29	28	34	33	34
Ас, мг/л	300,0	1,7	1,4	2,8	3,3	4,9	7,5	11,0	16,4	28,7	41,3	53,2	79,5
Степень адсорбции, %	0	99,4	99,5	99,1	98,9	98,4	97,5	96,3	94,5	87,4	83,9	82,3	66,8
Г, мг/г; $m_{\text{адс}} 2,260 \text{ г}$	0	26,4	52,8	79,1	105,4	131,5	157,4	183,0	208,1	232,1	254,0	275,8	300,2

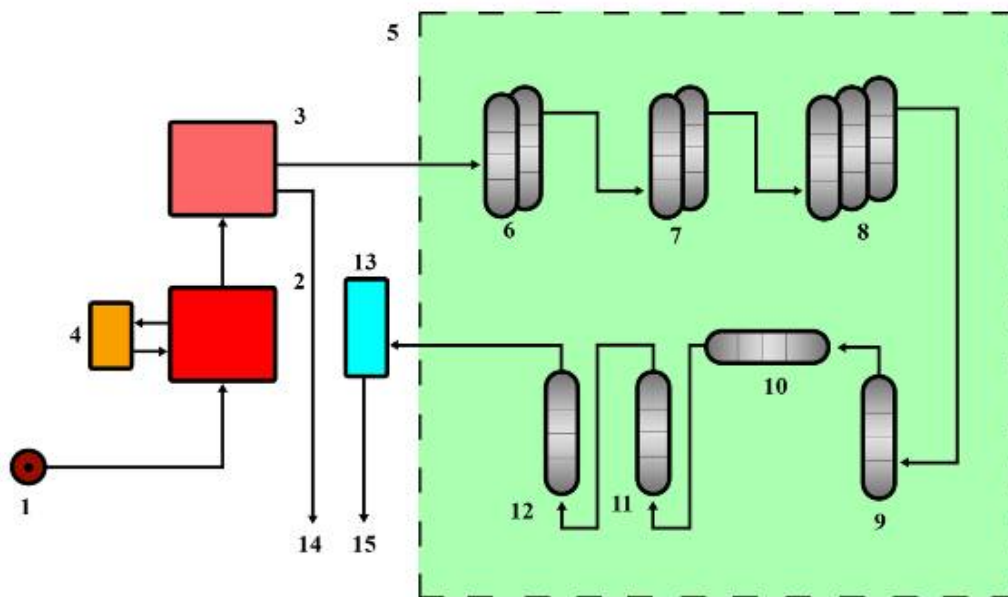


Рис. 1. Технологическая схема очистки и умягчения низкопотенциальных вод, сработанных в теплонасосной системе теплоснабжения.

1 – геотермальная скважина; 2 – теплонасосная установка (на отопление); 3 – теплонасосная установка (на горячее водоснабжение); 4 – потребитель тепла; 5 – блок химоводоочистки; 6 – блок модулей для механической очистки с картриджами FS-10TH + ВДК-Fe₂; 7 – блок модулей для очистки от мышьяка с картриджами Fe³⁺-ДЭАЭЦ; 8 – блок модулей с трековыми мембранами ВДК-ТМЗ*3; 9 – модуль с угольным картриджем СВС (+ Ag); 10 – модуль универсальной очистки с картриджем ВДК-УС (NL); 11 – модуль для умягчения НПВ с картриджем БС (Na⁺–ионообменная смола); 12 – постфильтр с картриджем ВДК-У4(NL); 13 – резервуар очищенной воды; 14 – на горячее водоснабжение; 15 – на холодное водоснабжение.

Дальнейшие исследования, по нашему мнению, должны осуществляться в двух направлениях, первое из них – охват новых сопредельных территорий с целью изучения минерального состава и идентификации загрязнителей питьевых подземных вод северо-кавказского региона России, второе – создание новых эффективных методов очистки артезианских вод с более широким спектром их загрязнителей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 1308-00254а, № 1208-96501-р_юг_a.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Абдурахманов Г.М., Гасангаджиева А.Г., Габибова П.И. 2009. Эколого-географическая, социально-экономическая обусловленность и прогноз заболеваемости злокачественными новообразованиями населения горных районов Республики Дагестан. Махачкала: Алеф. 467 с.
- Алхасов А.Б. 2008. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии. М.: Физматлит. 376 с.
- Алхасов А.Б., Алишаев М.Г., Алхасова Д.А., Каймаразов А.Г., Рамазанов М.М. 2012. Освоение низкопотенциального геотермального тепла. М.: Физматлит. 280 с.
- Алхасов А.Б., Каймаразов А.Г. 2012. Современное состояние и перспективы освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов Восточного Предкавказья. *Юг России: экология, развитие*. 4: 7–18.
- Алхасов А.Б., Каймаразов А.Г. 2013. Технологии комплексного освоения низкопотенциальных геотермальных ресурсов. В кн.: Материалы Первого международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013» (Москва, 22–23 октября 2013 г.). Москва: ОИВТ РАН: 47–50.



- Каймаразов А.Г., Шабанова З.Э., Камалутдинова И.А., Ахмедов К.М. 2010. Идентификация и количественное определение мышьяксодержащих загрязняющих компонентов низкопотенциальных вод Северо-Дагестанского артезианского бассейна. В кн.: Возобновляемая энергетика: проблемы и перспективы. Материалы II Международной конференции (Махачкала, 27–30 сентября 2010 г.). Махачкала: Алеф: 295–307.
- Магандалиев М.М., Шабанова З.Э., Каймаразов А.Г. 2013. Проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения сельского населения равнинного Дагестана и пути их решения. В кн.: Материалы VI Школы молодых ученых имени Э.Э. Шпилерайна «Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов» (Махачкала, 23–26 сентября 2013 г.). Махачкала: Алеф: 374–379.
- Семенова Н.К. 1978. Выделение гуминовых кислот и железа из природных вод и их количественное определение. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Серия химия и физика*. 6: 163–175.

REFERENCES

- Abdurakhmanov G.M., Gasangadzhieva A.G., Gabibova P.I. 2009. Ekologo-geograficheskaya, sotsial'no-ekonomicheskaya obuslovlennost' i prognoz zabolevaemosti zlokachestvennymi novoobrazovaniyami naseleniya gornyykh rayonov Respubliki Dagestan [Ecological-geographical and social-economic dependence and the prognoses of morbidity malignant neoplasm's mountain population of the Dagestan Republic]. Makhachkala: Alef. 467 p. (in Russian).
- Alkhasov A.B. 2008. Geotermal'naya energetika: problemy, resursy, tekhnologii [Geothermal energy: problems, resources, technologies]. Moscow: Fizmatlit. 367 p. (in Russian).
- Alkhasov A.B., Alisbaev M.G., Alkhasova D.A., Kaymarazov A.G., Ramazanov M.M. 2012. Osvoenie nizkopotent-sial'nogo geotermal'nogo tepla [Development of low potential geothermal resources]. Moscow: Fizmatlit. 281 p. (in Russian).
- Alkhasov A.B., Kaymarazov A.G. 2012. Current state and prospects of development for low potential resources of Eastern Ciscaucasia. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 4: 7–18 (in Russian).
- Alkhasov A.B., Kaymarazov A.G. 2013. Technologies of complex development of low-potential geothermal resources. In: Materialy Pervogo mezhdunarodnogo foruma "Vozobnovlyayemaya energetika. Puti povyshe-niya energeticheskoy i ekonomicheskoy effektivnosti REENFOR-2013" [Abstracts. First International Forum "Renewable Energy: Towards Raising Energy and Economic Efficiencies" (Moscow, 22–23 October 2013). Moscow: Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences Publ.: 47–50 (in Russian).
- Kaymarazov A.G., Shabanova Z.E., Kamalutdinova I.A., Akhmedov K.M. 2010. Identification and quantitation arsenic pollutants of low potential waters of North Dagestan artesian reservoir. In: Vozobnovlyayemaya energetika: problemy i perspektivy. Materialy II Mezhdunarodnoy konferentsii [Renewable energy: Problems and Prospects. Proceedings of the 2nd International conference (Makhachkala, 27–30 September 2010). Makhachkala: Alef: 295–307 (in Russian).
- Magandaliev M.M., Shabanova Z.E., Kaymarazov A.G. 2013. The problems of drinking water supply for farmer population of Flatland Dagestan; the ways of their solution. In: Aktualnyye problemy osvoyeniya vozobnovlyayemykh energoresursov. VI Shkola molodykh uchenykh: Trudy [Actual Problems of renewable energy resources development. VI School of Young Scientists named after E.E. Shpilrain (Makhachkala, 23–26 September 2013)]. Makhachkala: Alef: 374–379 (in Russian).
- Semenova N.K. 1978. Isolation of humic acid and iron from natural waters and their quantification. *Izvestiya Timir-ryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. Seriya khimiya i fizika*. 6: 163–175 (in Russian).