

**СОЗДАНИЕ НАКОПИТЕЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ-ВОДОХРАНИЛИЩ
ИЗ БЕНТОНитОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА
ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОПУСТЫНИВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ**

© 2025 г. Б.Д. Тотурбиев*, С.А. Мамаев*, А.Б. Тотурбиев*, Н.Б. Бутаева**

*Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН
Россия, Республика Дагестан, 367010, г. Махачкала, ул. Ярагского, д. 75

**Дагестанский государственный университет
Россия, Республика Дагестан, 367000, г. Махачкала, ул. Магомета Гаджиева, д. 43-а

Поступила в редакцию 19.12.2024. После доработки 01.05.2025. Принята к публикации 01.07.2025.

На основе теоретических разработок по использованию подземных пресных вод со слабым напором на выходе возникла целесообразность создания искусственных накопительных водоемов-водохранилищ для эффективного использования водных ресурсов в целях орошения земель засушливых территорий. При строительстве водоемов возникают проблемы наружной и внутренней защиты сооружений. Наиболее признанными для этих целей являются гидроизоляционные материалы на основе битумов, синтетических смол-полимеров и минеральных вяжущих. Они отличаются как водонепроницаемостью, водостойкостью, долговечностью, так и механической прочностью, обусловленной химическим составом. В настоящее время особую актуальность приобретает создание новых, более стойких материалов, отвечающих этим требованиям и достаточно доступным по цене.

Учитывая эти особенности, мы провели исследования высокоэффективного композиционного гидроизоляционного материала из бентонитовых глин. Приводятся результаты лабораторных испытаний химического, минералогического состава и термического анализа бентонитовой глины Левашинского проявления горного Дагестана. Экспериментальными исследованиями установлены оптимальные составы композиции на основе бентонитовой глины и портландцементного клинкера с введением модификатора – нанодисперсного полисиликата натрия, полученного путем их совместного помола в шаровой мельнице до удельной поверхности 2500-3000 г/см². Определены технологические, физико-механические свойства композиционного теста и композиции в целом после твердения как в естественных условиях, так и при оптимальном соотношении тепла и влаги в засушливых регионах юга России.

Ключевые слова: опустынивание земель, подземные пресные воды, накопительные водоемы, нерудное сырье, бентонитовые глины, портландцементный клинкер, нанодисперсный полисиликат натрия.

DOI: 10.24412/1993-3916-2025-3-136-141

EDN: QMCLQO

В настоящее время в условиях климатического потепления в засушливых регионах происходит опустынивание земель. По этой проблеме на основе научных достижений в области динамики процессов опустынивания и формирования ресурсоэкономического потенциала отдельных компонентов аридных экосистем проведены исследования, посвященные восстановлению продуктивности, устойчивости аридных земель. Это позволило представить фундаментальную основу мобилизации данных исследований биологического потенциала засушливых земель.

В этой связи разработаны теоретические основы и принципы использования подземных пресных вод, залегающих на значительных площадях в недрах таких регионов (Залибеков и др., 2019; Zalibekov et al., 2019), путем применения поверхностного орошения. Из-за слабого напора и незначительного запаса на выходе подземных вод возникает необходимость создания накопительных водоемов для планомерного орошения деградированных земель. При этом встает вопрос о наружной и внутренней защите этих сооружений.

Наиболее признанными для этих целей являются гидроизоляционные материалы на основе применения битумов, синтетических смол-полимеров и минеральных вяжущих. Они по признаку

физического состояния и внешнему виду подразделяются на мастичные, обмазочные, порошковые, растворы, рулонные, листовые, пленочные, полимермембранные, обладающие водонепроницаемостью, водостойкостью, долговечностью и механической прочностью.

Установлено, что наиболее приемлемыми являются порошковые гидроизоляционные материалы, которые готовятся на основе цементных вяжущих с добавлением синтетических смол и высококачественных пластификаторов, регуляторов твердения и т.д. Эти материалы поставляются в виде сухих смесей, которые затворяются водой и наносятся на поверхность штукатурным способом.

Перечисленные материалы относятся к категории традиционных, применявшихся ранее в строительстве водоемов для орошения. Однако в последнее время они вытесняются на рынке технологиями, которые решают задачи гидроизоляции значительно эффективнее в контексте орошения деградированных земель. Учитывая эти особенности, мы провели работы по научно-экспериментальному обоснованию получения нерудного и техногенного сырья и нанодисперсных полисиликатов натрия. Полученные материалы представляют новое поколение функционального назначения по инновационной, наукоемкой, энерго-ресурсосберегающей, экологически чистой технологии (Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., 2017; Тотурбиев и др., 2018, 2020, 2022).

Материалы и методы

Известно, что бентонитовые глины относятся к числу важнейших неметаллических полезных ископаемых – к нерудному сырью, широко применяемому в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, медицины, а также для решения экологических проблем рационального использования водных ресурсов.

Объем добычи бентонитовых глин в мире в последние годы стабильно составляет ежегодно более 15 млн. т. При этом ежегодный прирост мирового производства бентопродуктов (и, соответственно, его потребление) увеличивается в среднем на 5.5% (Большая энциклопедия ..., 2002; Неметаллические ..., 1984-1991; Нерудные ..., 1974).

В России добыча и производство таких глин значительно отстаёт от потребностей народного хозяйства. Поэтому здесь бентопродукты относятся к дефицитным видам минерального сырья. В последнее время наряду с необходимостью расширения российской материально-сырьевой базы сырья особое внимание привлекают их варианты, характеризующиеся низкой стоимостью и большими запасами, которые могут использоваться в строительстве и производстве различных материалов (Керимов, 1978).

Положительное значение имеют неучтенные запасы бентонитовых глин Левашинского месторождения горного Дагестана. Проведенный термический анализ бентонитовой глины был осуществлен на дериватографе Netzsch STA 449 С производства NETZSCH-Gerätebau GmbH (Selb, Germany), с использованием образцов воздушно-сухой навески глинистой фракции. В термограмме (рис.) выделены термоэффекты и изменение массы при увеличении нагрева образцов.

Определение водопоглощения, кажущейся плотности, открытой пористости и основные свойства растворных смесей из разработанной композиции определяли согласно ГОСТу 12730.4-78 (2020). Физико-механические свойства затвердевшего раствора (камня) определяли по ГОСТам 310.1-76 (1978), 310.3-76 (1978), 310.4-81 (1983) и 28013-98 (1998). Полученные данные послужили основой выявления стойкости материалов защитных стен водонакопителя и уменьшения потерь влаги до 15%.

Кристаллогидрат полисиликата натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, используемого в качестве модификатора, изготавливали согласно патенту № RU2118642, позволяющему получить водорастворимые кристаллогидраты с широким диапазоном использования в качестве гелеобразующего компонента и материалы с высокими физико-механическими свойствами.

Результаты и обсуждение

Учитывая перспективность и актуальность проведенных исследований в разработке проблем аридных земель, мы использовали наноструктурированные композиции из бентонитовых глин для укрепления защитных компонентов водонакопителя. Результаты испытания химического состава с определением минералогического состава приводятся в таблице 1.

Рассматриваемые бентонитовые глины представлены в основном минералами монтмориллонита, кварца и глины, где преобладают монтмориллонит, и объединены в самостоятельную группу минералов монтмориллонитовой группы, отличающихся качественным составом.

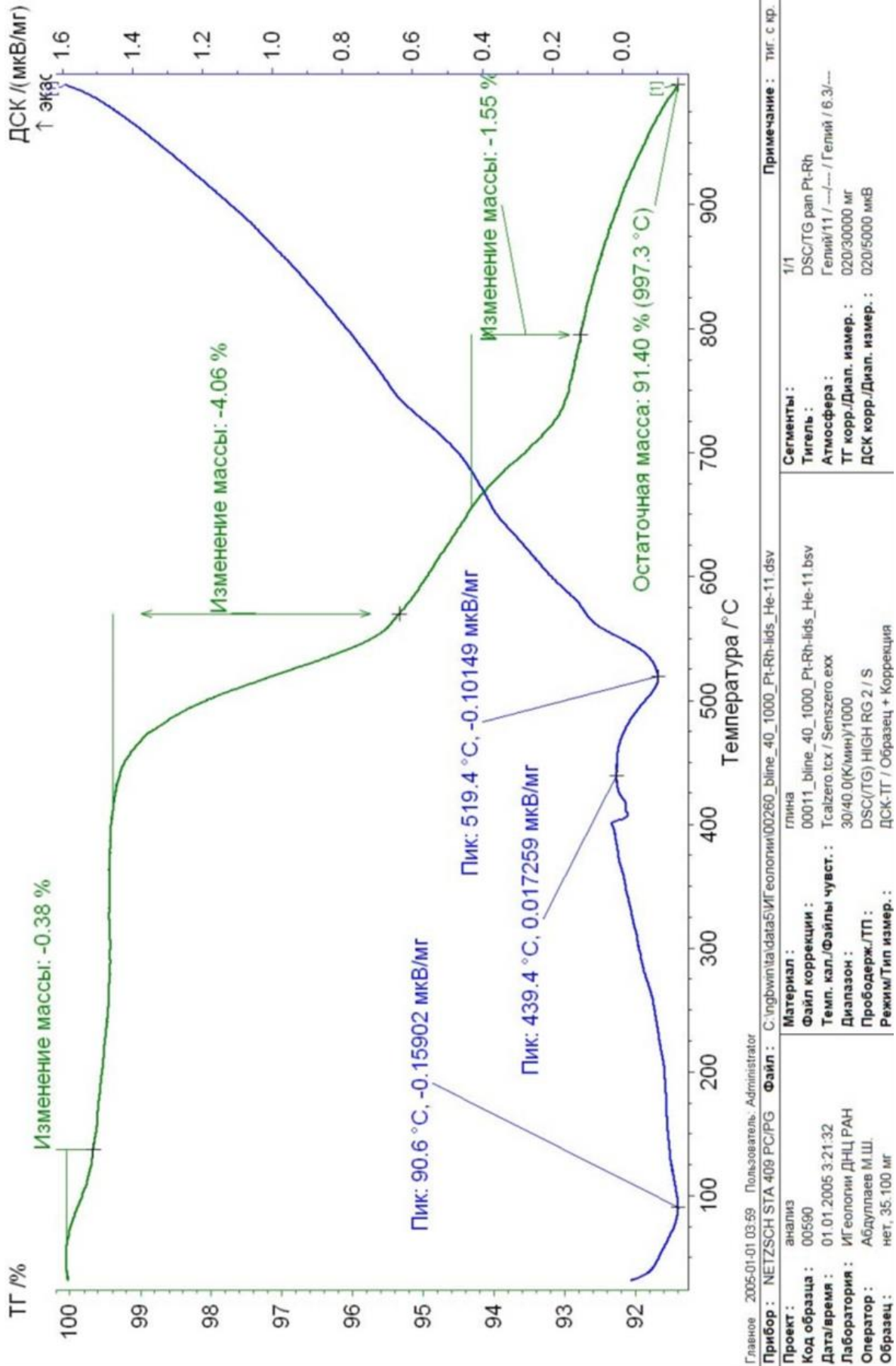


Рис. Кривые дифференциально-термического и дифференциально-термогравиметрического анализа глинистой фракции бентонита.

Таблица 1. Химический и минералогический состав бентонитовой глины, %.

Химический состав	Содержание								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	п.п.п
	51.0	23.25	7.2	7.41	4.06	2.75	0.99	3.31	10.0
Минералогический состав									
кварц	монтмориллонит			гидрослюда		каолинит			
3±1	82±7			6±2		7±2			

Чем больше в составе смеси монтмориллонита, тем выше ее гидрофильность – главное свойство этого сорта глин, соответствующего условиям аридных земель. Бентонит разбухает в процессе гидратации водой, нетоксичен для растений и обладает хорошей химической стойкостью, поэтому его применяют при строении многих объектов промышленности, медицины и сельского хозяйства, расположенных в аридном климатическом поясе.

Термограмма термического анализа, на которой отмечены термоэффекты и изменение массы при увеличении нагрева образца, показал, что эндотермический эффект у исследуемого образца возникает в интервале 50-200°C с максимумом при 110-120°C. Это обусловлено удалением содержащейся в монтмориллоните и гидрослуде адсорбционной и межпакетной воды. Присутствие последней связано с высокой удельной поверхностью частиц, находящейся в прямой зависимости от строения кристаллической решетки монтмориллонита. Потеря химически связанной воды и почти полное разрушение решетки происходит в пределах 500-650°C. Это также связано с выделением конституционной воды у минералов группы гидрослуды. На кривой дифференциального термического анализа наблюдаются очень слабые эндотермические максимумы, обусловленные удалением оставшейся гидроксильной воды и полным разрушением структуры гидрослуды.

Для создания устойчивой по водопрочности защитной стены в накопителе воды изучены гидрологические свойства почв: влагоемкость, водопроницаемость и водоподъемность. Эти свойства определяют величину капиллярного подъема влаги для водонакопителя, где оптимальная величина бентонита при среднесуглинистом грунте в засушливых условиях Прикаспийской низменности составляет 2.5-3.0 м.

Исследования физических свойств бентонитовой глины показали, что выход глинистого раствора вязкостью 25 сек. составляет 13-14 м³/м. Массовая доля влаги – 12-14% при плотности суспензии, равной 1.062-1.058 г/см³. Остаток на сите составляет 2-3%. Показатель фильтрации не превышает 14 см³ в условиях отсутствия седиментации, с объемным весом, равным 0.85-0.90 г/см³. Рассматриваемые бентонитовые глины относятся к монтмориллонитовой группе и обладают практически всеми свойствами природных наноразмерных частиц. Косвенным подтверждением тому являются показатели ситового анализа суспензии и чрезмерное разбухание бентонита при введении воды. Учитывая высокую дисперсность на уровне наночастиц и низкую плотность суспензии (1.062-1.058 г/см³), получен высокоэффективный композиционный гидроизоляционный материал из бентонитовых глин и портландцементного клинкера – кристаллогидрата полисиликата натрия.

После сушки глины до постоянного веса совместно с портландцементным клинкером и кристаллогидратами полисиликата натрия мы размалывали их до удельной поверхности 2500-3000 г/см². Полученную тонкомолотую композицию растворяли водой и перемешивали в мешалке принудительного действия с введением пластификатора с целью исключения агрегации наночастиц в растворе.

По результатам исследований были приняты следующие составы тонкомолотой композиции, в % по массе: бентонитовая глина (60-70) : портландцементный клинкер (38-27) : кристаллогидрата полисиликата натрия (2-3).

Основные свойства разработанного композиционного гидроизоляционного материала иллюстрируют приемлемость принятой технологии с использованием инородных компонентов (табл. 2).

Согласно результатам, прочность бентонитового композиционного материала удовлетворяет требования ГОСТов к качеству компонентов водных защитных сооружений.

Полученный экспериментальный материал по составу и структуре тонкомолотой композиции

и исключения агрегации наночастиц придает строительной массе стойкость и водопрочность, обеспечивая защиту стен водонакопителя. При этом увеличиваются сроки активной защиты стен и опор водонакопителя в условиях засух и высоких температур, а также продолжительность функционирования объектов, входящих в состав водонакопительного комплекса.

Таблица 2. Основные свойства высокоэффективного композиционного гидроизоляционного материала.

Наименование показателей	Ед. измерения	Образцы состава % по массе 60 : 38 : 2					
		1	2	3	4	5	6
Прочность	МПа	45	37	35	38	39	43
Водонепроницаемость	марка	W17	W15	W17	W13	W14	W17
Морозостойкость	цикл	300	400	300	300	400	300
Линейная усадка	мм/м	0.05	0.03	0.03	0.1	0.09	0.05

Выводы

Используя теоретические основы и принципы применения подземных пресных вод, мы выявили способы создания накопительных искусственных водоемов-водохранилищ для орошения деградированных земель в условиях опустынивания и аридизации. Возникла необходимость создания новых, более стойких материалов для наружной и внутренней защиты сооружений, отвечающих более высоким требованиям к эксплуатационной стойкости при оптимальной доступной цене.

Высокие результаты прочностных и других физико-технических свойств разработанного наноструктурированного композиционного вяжущего на основе бентонитовых глин дает основание использовать его для гидроизоляции водохранилищ.

Гидроизоляционная поверхность, обработанная раствором из разработанного наноструктурированного композиционного вяжущего с введением модификатора твердения, после схватывания приобретает ярко выраженные водоотталкивающие свойства: капли воды скатываются, не оставляя следа. Высокая адгезия (способность одного материала приклеиваться и удерживаться на поверхности другого) и когезия (характеризует прочность тела и его способность противостоять внешнему воздействию) при формировании раствора из разработанного наноструктурированного композиционного вяжущего способствуют повышенной адгезии к наносимой поверхности – адгезиву. Известно, что большая щелочность воды на поверхности наносимой гидроизоляции, а также поверхностных вод водохранилищ в засушливых условиях способствуют высокой щелочестойкости. Высокая щелочестойкость разработанного материала объясняется тем, что нанодисперсные полисиликаты натрия, образовавшиеся в процессе формирования структуры данной композиции, обладают высоким силикатным модулем. Концентрация щелочного составляющего в массе полисиликатного связующего приводит к повышению щелочестойкости, водостойкости, морозостойкости разработанной композиции.

Определена возможность активного соединения свободной щелочи гидроизоляционного слоя с мельчающими частицами SiO₂ размерами от 2-3 нм и выше до установления равновесия раствора полисиликатной системы. Учитывая особенности современного потепления климата и роста численности населения в засушливых регионах предлагаемые нами разработки приобретают особую актуальность для регионов аридного климатического пояса.

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Института геологии ДФИЦ РАН «Ландшафтно-геохимическое районирование Прикаспийской низменности», раздел 1, № ААА-А117-1170213101 99-99 «Разработка методологических основ изучения гумусного состояния и засоления почв в целях ландшафтно-геохимического районирования аридных территорий», тема 3, № АААА-А1711702310203-3 «Эколого-геохимические особенности подземных вод Северо-восточного Кавказа (Дагестана)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Большая энциклопедия нефти и газа. 2002 [Электронный ресурс <http://www.ngpedia.ru/id634255p2.html> (дата обращения 20.02.2025)].

АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2025, том 31, № 3 (104)

- ГОСТ 12730.4-78. 2020. Бетоны. Методы определения параметров пористости [Электронный ресурс <https://files.stroyinf.ru/Index/74/74493.htm> (дата обращения 20.02.2025)].
- ГОСТ 28013-98. 1998. Растворы строительные. Общие технические условия [Электронный ресурс <https://files.stroyinf.ru/Index/8/8624.htm> (дата обращения 20.02.2025)].
- ГОСТ 310.1-76. 1978. Цементы. Методы испытаний. Общие положения [Электронный ресурс <https://files.stroyinf.ru/Index/34/34404.htm> (дата обращения 20.02.2025)].
- ГОСТ 310.3-76. 1978. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема [Электронный ресурс <https://files.stroyinf.ru/Index/25/25228.htm> (дата обращения 20.02.2025)].
- ГОСТ 310.4-81. 1983. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии [Электронный ресурс <https://files.stroyinf.ru/Index/13/13713.htm> (дата обращения 20.02.2025)].
- Залибеков З.Г., Мамаев С.А., Биарсланов А.Б., Магомедов Р.А., Асгерова Д.Б., Галимова У.М.* 2019. Об использовании пресных подземных вод засушливых регионов мира в борьбе с опустыниванием земель // Аридные экосистемы. Т. 25. № 2 (79). С. 3-12. [*Zalibekov, Z.G., Mamaev, S.A., Biarslanov, A.B., Magomedov R.A., Asgerova D.B., Galimova U.M.* 2019. The Use of Fresh Groundwater from Arid Regions of the World in the Fight against Land Desertification // *Arid Ecosystems*. Vol. 9. No. 2. P. 77-84.]
- Керимов Г.К.* 1978. Минеральный состав глинистых пород Дагестана, генетические типы и их применение в промышленности // Труды ИГ Дагестанского филиала АН СССР. Вып. 8. С. 94-115.
- Неметаллические полезные ископаемые. 1984-1991 // Горная энциклопедия: в 5 т. Ред. Е.А. Козловский. М.: Советская энциклопедия.
- Нерудные полезные ископаемых. 1974 // Большая советская энциклопедия: в 30 т. / Ред. А.М. Прохоров. Т. 17. М.: Советская энциклопедия. 615 с.
- Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б.* 2017. Полисиликаты щелочных металлов – уникальные связующие вещества для получения нанодисперсных полисиликатнатриевых композиций // Промышленное и гражданское строительство. № 4. С. 72-76.
- Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б., Абдулаев М.Ш., Абдулганиева Т.И.* 2018. Использование аргиллитовых глин для производства керамзита // Горный журнал. № 3. С. 58-62.
- Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б.* 2020. Композиционные строительные материалы из нерудного сырья мезозойско-кайнозойских осадочных толщ // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. № 6 (49). С. 37-43.
- Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б.* 2022. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев // Геология и геофизика Юга России. Т. 12. № 1. С. 148-161.
- Zalibekov Z.G., Biarslanov A.B.* 2019. Methods to Explore Diverse Soils in the West Caspian Region Using High-Resolution Satellite Images // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. Vol. 55. No. 9. P. 1073-1081.