УДК 550.8+551.2

СИСТЕМНО-СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СЕВЕРО-СТАВРОПОЛЬСКО-ПЕЛАГИАДИНСКОГО ПОДНЯТИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СЕВЕРО-СТАВРОПОЛЬСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА)

SYSTEM-STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE NORTH-STAVROPOL-PELAGIADA UPLIFT (ON THE EXAMPLE OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE NORTH-STAVROPOL UNDERGROUND GAS STORAGE)

Казанкова Эльвира Ромуальдовна
старший научный сотрудник,
Институт проблем нефти игаза РАН
Elvira.kazankova@mail.ru

Корнилова Наталья Вячеславовна
научный сотрудник,
Институт проблем нефти игаза РАН
nataliakornilova@rambler.ru

Аннотация. На основе структурно-динамического метода выявлена пространственно-временная закономерность геологического строения Северо-Ставропольско-Пелагиадинской структуры (Северо-Ставропольское ПХГ). Установлены участки возможных возникновений вертикальных движений с различных глубин.

Ключевые слова: Северо-Ставропольско-Пелагиадинская структура, геодинамические процессы, состояние геолого-геофизической среды, ПХГ.

Kazankova Elvira Romualdovna
Senior Research Worker,
Institute of Oil and Gas Problems of the RAS
Elvira.kazankova@mail.ru

Kornilova Natalia Vyacheslavovna
Research Worker,
Institute of Oil and Gas Problems of the RAS
nataliakornilova@rambler.ru

Annotation. Based on the structural and dynamic method, the spatial and temporal regularity of the geological structure of the North Stavropol-Pelagiadinsky structure (North Stavropol UGS) was revealed. Areas of possible occurrence of vertical movements from various depths have been identified.

Keywords: North Stavropol-Pelagiadinskoye structure, geodynamic processes, the state of the geological and geophysical environment, UGS.

Законы природы одни и те же для всех систем отсчета, движения и построения. В основе наших исследований лежит физика неравновесных состояний, демонстрирующая фундаментальную особенность неравновесных систем порождать высокоупорядоченные структуры.

Эволюция Земли и ее геологическая история – это упорядоченное и закономерное поведение вещества самой планеты. В качестве примера можно привести проявления глобальных импульсов – вспышек базальтового магматизма, образующего одновременно в разных областях планеты, далеко отстающих друг от друга, огромные плащеобразные покровы [1]. В литосфере установлена роль процессов очагового, либо стволового типов, характеризующихся центральной симметрией.

Геодинамические процессы протекают не в изолированной системе, а в естественных полях Земли различной природы. В этом проявляется единство движения материи в физических полях, которое выступает как объективная закономерность развития Земли. Принимая во внимание достоверность результатов наблюдений разных исследователей и используемой гипотезы для их геологического истолкования, необходимо признать, в качестве реального, существование пространственно-временного (многомерного) единого поля в котором происходят все геодинамические процессы и явления в геологической среде [2, 3].

Геологические структуры в процессе формирования периодически испытывают деформации сжатия и растяжения разной частоты и амплитуды. Принципиально новый подход не противоречит локсодромным пространственным решеткам Земли, которые описывают свойства и геолого-физические условия и развития других структурных элементов земной коры [4].

Единое поле – квазистационарная составляющая суммарного поля сил разной природы, действующих в геологической среде. «Поля инерции представляют собой торсионное поле геометрии абсолютного параллелизма» [5]. «Силы инерции порождены кручением пространства абсолютного параллелизма». В нашей работе – это суммарное поле сил разной природы, разных рангов, определяющее структуру Земли в определенных объемах геологической среды [6, 7]. Вероятно, происходят определенные закономерности в чередовании векторов разных рангов восходящего и нисходящего направлений.

Так как пока невозможно построить структуру единого поля для всей Земли в целом, нами предложен новый подход к изучению природно-технических систем в полях (ранее называемых по-

лями напряжений) на примере подземных хранилищ газа (ПХГ), которые создаются в истощенных газовых, газонефтяных или газоконденсатных месторождениях и в водоносных пластах [8, 9].

Исследования по неустойчивости геологической среды основываются на методологическом подходе использования механизма взаимосвязи и соподчинения ее напряженно-деформированного состояния. На основе геометрических построений и динамического структурирования объемов геолого-геофизической среды выявлены закономерности геологического строения Северо-Ставропольско-Пелагиадинской структуры.

Ранее, в результате усовершенствования структурно-динамического метода выявления закономерностей геологического строения и напряженно-деформированного состояния нефтегазоносных территорий с позиции нелинейной геодинамики (на основе геометрических построений), была построена карта-схема Ставропольского свода и сопредельных территорий (масштаб 1: 1000000), (рис. 1) [10].

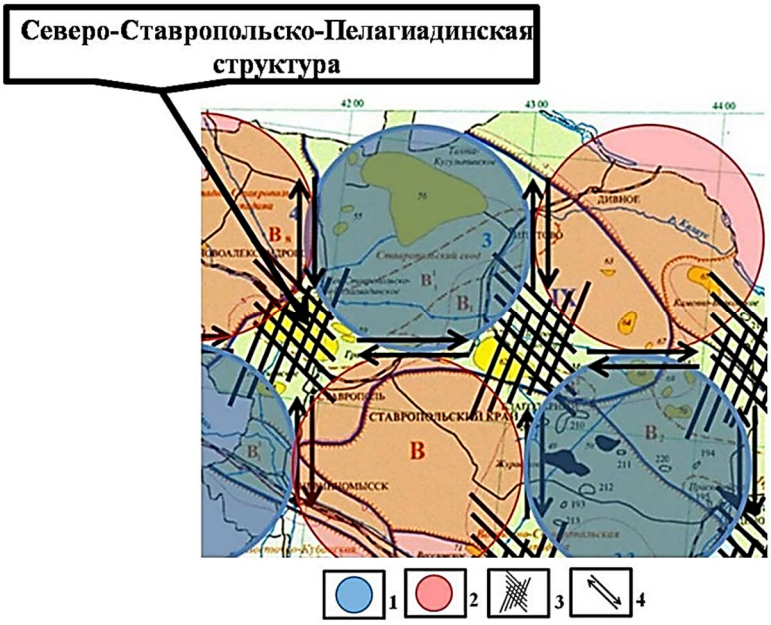

Рисунок 1 – Геодинамическая карта-схема Ставропольского свода
1 – участки действия преимущественно восходящего вектора поля напряжений, действующего с глубины 180 км; 2 – участки действия преимущественно нисходящего вектора; 3 – участки спокойного залегания осадочной толщи для данного масштаба исследований; 4 – участки одновременного сжатия и растяжения со сдвиго-надвиговыми деформациями (составлена на основе [11])

В масштабе 1:1 000000 Северо-Ставропольско-Пелагиадинская структура приурочена к участку спокойного залегания осадочной толщи. Поднятие представляет собой двухкупольную структуру, включающую в себя крупную Северо-Ставропольскую брахиантиклиналь и обширное Пелагиадинское поднятие, разделенные неглубокой седловиной. Северо-Ставропольская брахиантиклиналь представляет собой пологую складку платформенного типа, с размерами 18 на 33 км. На востоке к структуре примыкает Пелагиадинское подняие, с размерами 11 на 16 км. Характерной особенностью указанных поднятий являются широкие своды и пологие крылья (угол падения не превышает 1°30'). Дизъюнктивных нарушений в пределах месторождения не установлено [12, 13].

На базе истощенного многопластового газового месторождения было создано крупнейшее Северо-Ставропольское подземное хранилище газа (ПХГ). На месторождении газовые залежи были приурочены к отложениям «Зеленой свиты», «Хадумского», «Чокракского» и «Караганского» горизонтов. Для хранения газа были выбраны два объекта – зеленая свита и хадумский горизонт, которые существенно отличаются по своим характеристикам и режимам работы [13].

Хадумская залежь, приуроченная к Северо-Ставропольскому и Пелагиадинскому поднятиям, представлена часто чередующимися макро-, микро прослоями и линзами алевритов и глин, которые в пределах отдельных образцов керна, постепенно или резко переходят друг в друга, и разделяется на три литологические пачки. Горизонт обладает мощностью порядка 100 м и высокими коллекторскими свойствами [12, 14, 15].

Отложения зеленой свиты можно подразделить на две части. Нижняя часть разреза, вмещающая продуктивный горизонт, сложена песчаниками и алевролитами серыми и темно серыми с зеленоватым оттенком. Песчаники мелкозернистые, слабоглинистые, некарбонатные, слюдистые. Верх-

няя часть, перекрывающая песчанистые образования, представлена карбонатными глинами, тёмно-зелёными мергелями с незначительными прослоями песчаника [16].

Основной покрышкой газового хранилища служат майкопские отложения, представленные мощной (до 500 м) толщей плотных, слоистых глин. И герметичность Северо-Ставропольского ПХГ выше, чем подземных хранилищ газа, созданных в водоносных пластах [13].

При построении структуры поля напряжений в масштабе 1:50000 установлено, что вся Северо-Ставропольское-Пелагиадинская структура, к которому приурочено Северо-Ставропольское ПХГ, сформирована в условиях действующих на нее сил в течение длительного времени с глубины более 22,5 км. А Центральный купол Северо-Ставропольской структуры и Пелагиадинская структура, сформированы в условиях действующих на них сил в течение длительного времени с глубины 7,5 км.

На рисунке 2 показана двумерная схематическая структура единого поля центральной части Северо-Ставропольского купола Северо-Ставропольско-Пелагиадинской (рис. 2).

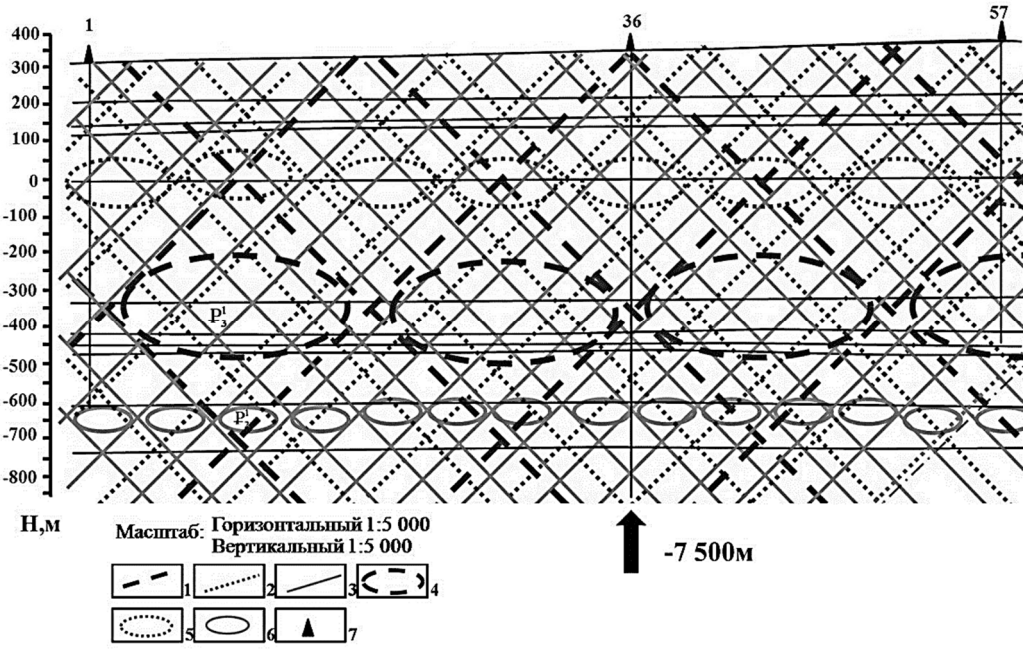

Рисунок 2 – Двумерная схематическая структура единого поля центральной части Северо-Ставропольского купола Северо-Ставропольско-Пелагиадинской структуры: векторы касательных напряжений, действующих с глубин газа (Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., 2024 г.): 1) ~351 м, 2) ~176 м, 3) ~88м; уровни, наиболее благоприяные для аккумуляции флюидов на глубине: 4) ~351м, 5) ~176м, 6) ~614м; 7) скважины

При детальном изучении геодинамического состояния Северо-Ставропольское-Пелагиадинской структуры определены возможные направления перетоков газа по вертикали, благоприятные условия для аккумуляции газа на глубинах 351,56, 614,66 метров и нулевой отметке относительно уровня моря.

В участках пересечения касательных векторов действующих с разных глубин возможно возникновение короткопериодных деформаций с преобладанием вертикальных движений и сдвиговых смещений, характеризующихся в разрезе изменением литологического состава пород (увеличение глинистости пласта, как терригенного, так и карбонатного до полного его замещения).

На характер изменений так же оказывают влияние минеральный состав, минералогическая плотность, пористость и условия формирования осадков, в которых возможно развитие вторичных процессов. В этих участках возможно одновременно упругое и пластичное нарушение разреза.

Структурно-геодинамические исследования на Северо-Ставропольском ПХГ позволили установить участки возможных возникновений вертикальных движений с различных глубин, направления возможных перетоков газа по латерали и его отжима (рис. 3).

Установлено, что в зоне действия восходящего вектора поля напряжений с глубины ~22500м, расположен участок среды, приуроченный к центральной части Северо-Ставропольской структуры (скважины № 36, 70, 72, 81). В зоне действия преимущественно восходящего вектора поля напряжений с глубины ~7500 м расположены скважины № 24, 25, 35, 36 Пелагиадиской структуры и скважины № 35 Северо-Ставропольской структуры.

Определены возможные перетоки флюидов и отжим газа в северо-восточном и юго-восточном направлениях.

Структурно-динамические исследования, проведенные на Северо-Ставропольском ПХГ, позволили выявить закономерности геологического строения, установить: участки неустойчивого состояния геолого-геофизической среды, возможные направления вертикальных и латеральных перетоков газа, а также участки возможной локализации газа. Движение флюидов происходит закономерно, согласно основным направлениям векторов полей разного ранга с разных уровней геолого-геофизических сред. Используя структуру единого поля как диагностический признак геодинамических явлений, с новых позиций, но нашему мнению, может быть осуществлен мониторинг на подземных хранилищах газа.

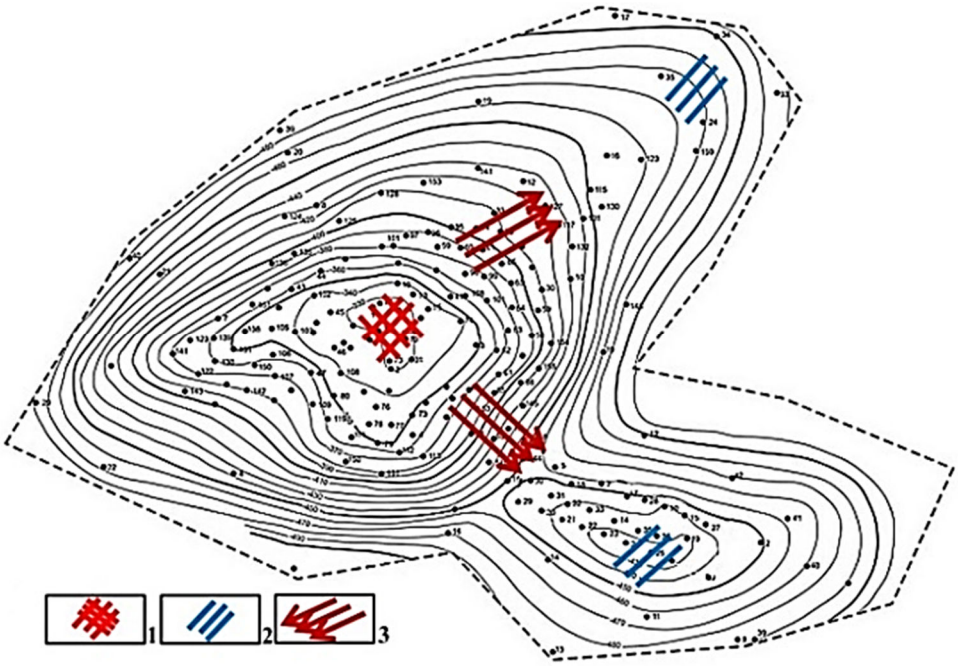

Рисунок 3 – Геодинамическая карта-схема геолого-геофизической среды Северо-Ставропольского подземного хранилища газа (Казанкова Э.Р., Корнилова Н.В., 2024г.): участки возможного действия векторов с глубины: 1) ~22 500 м, 2) ~7500 м, 3) направление возможного отжима газа

Модель геологической среды и ее напряженно-деформированного состояния представляет собой геометрические построения, которые можно использовать для проведения исследований по геологическому строению месторождений, особенностям формирования и размещения залежей.

Исследования степени вовлеченности геодинамических процессов различного масштаба в процесс функционирования ПХГ позволяют прогнозировать растекание газа за пределы проектного контура и перетоки по разрезу, формирование вторичных залежей, проникновение газа в водоносные горизонты и выход его на поверхность [3].

Прогнозирование неустойчивых участков с использованием структурных построений можно использовать при разработке нефтегазовых месторождений и эксплуатации подземных хранилищ газа.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Фундаментальный базис энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных, инновационных и цифровых технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, исследование, добыча и освоение традиционных и нетрадиционных запасов и ресурсов нефти и газа; разработка рекомендаций по реализации продукции нефтегазового комплекса в условиях энергоперехода и политики ЕС по декарбонизации энергетики (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования)», № FMME-2022-0004, 122022800270-0.

Список литературы:

1. Макаренко Г.Ф. Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли. – М. : ЗАО «Геоинформмарк»,1997. – 96 с.

2. Сигачева Н.Н. Спирально-скручивающее движение – механизм самоорганизации геологического пространства / Н.Н. Сигачева, А.Л. Шейнкман // Тез.21-й Генеральной ассамблеи «Международный союз геодезии и геофизики». – Колорадо, 1995. – С. А393.

3. Казанкова Э.Р. Структурно-геодинамический метод выявления закономерностей геологического строения (на примере обьектов нефтегазового комплекса) / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Естественные и технические науки. – 2021. – № 10(161). – С. 131–139.

4. Сараев В.А. Локсодромная модель Земли / В.А. Сараев // Система планета Земля. Сб. мат-в конф. – М. : РОО «Гармония». –1999. – С. 140–150.

5. Шипов Г.И. Теория физического вакуума: теория, эксперименты и технологии. – М. : Наука, 1997. – 450 с.

6. Казанкова Э.Р. Системная организация полей напряжений в литосфере / Э.Р. Казанкова // В сб. Теория диссипативных структур в геологическом анализе. – Апатиты : КНЦ РАН, 1998. – С. 55–57.

7. Казанкова Э.Р. Нелинейная геодинамика и экология недр / Э.Р. Казанкова, Р.М. Судо // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Сборник статей. – М. : Наука, 2000. – С. 359–364.

8. Казанкова Э.Р. Геоэкологические проблемы подземного хранения газа в России / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Геология нефти и газа. – 2016. – № 3. – С. 102–108.

9. Казанкова Э.Р. Геоэкологические проблемы подземных хранилищ газа (на примере Московского региона) / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. – 2009. – Т. 114. – № 3. – С. 388–397.

10. Казанкова Э.Р. Геоэкологические проблемы на подземных хранилищах газа / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // В сб. Еастественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы. Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Астрахань : АГУ, 2021. – С. 32–38.

11. Чернышев С.М. Карта нефтегазоносности Восточного Предкавказья (Ставропольский край, республики: Дагестан, Чечня-Ичкерия, Ингушетия, Северная Осетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкессия) / С.М. Чернышев, З.И. Жорина, Б.С. Данков; Ред. Э.М. Халимов. – М. : ВНИГНИ, 1996.

12. Тудвачёв А.В. Аналитическаие и численные расчеты растворения CO_2 в подземных водах Северо-Ставропольского ПХГ в случае его возможного захоронения / А.В. Тудвачёв, В.В. Тихомиров // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. – 2016. – № 4. – С. 37–52.

13. Зиновьев В.В. Методология повышения надежности и безопасности эксплуатации подземных хранилищ газа на стадии развития и окончания строительства : автореф. дис. … д-ра техн. наук: 25.00.17, 25.00.15. – Ставрополь, 2004. – 46 с.

14. Паршикова Н.Г. Эманационный мониторинг геологической среды на территориях гражданских и промышленных объектов : автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук: 25.00.10. – М., 2004. – 23 с.

15. Казанкова Э.Р. Геоэкологические условия размещения Северо-Ставропольского подземного хранилища газа (с позиции нелинейной геодинамики) / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: коллективная монография по материалам IX Всерос. науч.-тех. конф. Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. – М. : ИИЕТ РАН, 2019. – Т. IX. – С. 622–626.

16. Рахматуллина А.С. Условия формированияи закономерности распространения коллекторов нефти и газа в отложениях хадумской и баталпашинской свит восточного Предкавказья : дис. … канд. геол.-мин. наук: 25.00.06. – М., 2018. – 110 с.

List of references:

1. Makarenko G.F. Periodicity of basalts, biocrisies, structural symmetry of the Earth. – M. : ZAO Geoinformmark, 1997. – 96 p.

2. Sigacheva N.N. Spiral-twisting motion – the mechanism of self-organization of geological space / N.N. Sigacheva, A.L. Sheinkman // Thesis of the 21st General Assembly «International Union of Geodesy and Geophysics». – Colorado, 1995. – P. A393.

3. Kazankova E.R. Structural and geodynamic method for identifying patterns of geological structure (on the example of objects of the oil and gas complex) / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Natural and technical sciences. – 2021. – № 10(161). – P. 131–139.

4. Saraev V.A. Loksodromnaya model of the Earth / V.A. Saraev // System planet Earth. Sat. mat-in conf. – M. :ROO «Harmony», 1999. – P. 140–150.

5. Shipov G.I. Theory of physical vacuum: theory experiments and technologies. – M. : Nauka, 1997. – 450 p.

6. Kazankova E.R. Systemic organization of stress fields in the lithosphere / E.R. Kazankova // In the collection Theory of dissipative structures in geological analysis. – Apatity : KSC RAS, 1998. – P. 55–57.

7. Kazankova E.R. Nonlinear geodynamics and ecology of the subsoil / E.R. Kazankova, R.M. Sudo // Fundamental basis of new technologies of the oil and gas industry. Collection of articles. – M. : Science, 2000. – P. 359–364.

8. Kazankova E.R. Geoecological problems of underground gas storage in Russia / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Geology of oil and gas. – 2016. – № 3. – P. 102-108.

9. Kazankova E.R. Geoecological problems of underground gas storage facilities (on the example of the Moscow region) / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Bulletin of the Moscow Society of Nature Testers. The department is biological. – 2009. – Vol. 114. – № 3. – P. 388–397.

10. Kazankova E.R. Geoecological problems in underground gas storage facilities / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // In the sat. Natural sciences: current issues and social challenges. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. – Astrakhan : ASU, 2021. – P. 32–38.

11. Chernyshev S.M. Map of the oil and gas potential of the Eastern Pre-Caucasus (Stavropol territory, republics: Dagestan, Chechnya-Ichkeria, Ingushetia, North Ossetia, Kabardino-Balkaria, Karachay-Cherkessia) / S.M. Chernyshev, Z.I. Zhorina, B.S. Dankov; Ed. by E. M. Khalimov. – M.: VNIGNI. -1996. Scale 1: 1000000.

12. Tudvasev A.V. Analytical and numerical calculations of CO_2 dissolution in groundwater of the North Stavropol UGS in case of its possible burial / A.V. Tudvasev, V.V. Tikhomirov // Bulletin of St. Petersburg University. Series 7. Geology. Geography. – 2016. – № 4. – P. 37–52.

13. Zinoviev V.V. Methodology for improving the reliability and safety of operation of underground gas storage facilities at the stage of development and completion of construction : abstract. ... doctor of technical sciences: 25.00.17, 25.00.15. – Stavropol, 2004. – 46 p.

14. Parshikova N.G. Emanation monitoring of the geological environment in the territories of civil and industrial facilities : abstract. ... candidate of geological sciences: 25.00.10. – M., 2004. – 23 p.

15. Kazankova E.R. Geoecological conditions for the placement of the North Stavropol underground gas storage (from the perspective of nonlinear geodynamics) / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus : collective monograph based on the materials of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. – M. : IIET RAS, 2019. – Vol. IX. – P. 622–626.

16. Rakhmatullina A.S. Conditions of formation and patterns of distribution of oil and gas reservoirs in the sediments of the Khadum and Batalpashin formations of the Eastern Pre-Caucasus : dis. ... candidate of geological sciences: 25.00.06. – M., 2018. – 110 p.