УДК 550.8.01+504.06

ГЕОЭКОЛОГИЯ ЛИТОСФЕРЫ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

GEOECOLOGY OF THE LITHOSPHERE AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

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

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

Аннотация. Рассмотрена взаимосвязь и взаимозависимость геодинамических процессов, происходящих в разномасштабной геолого-геофизической среде. Показаны экогеодинамические ситуации и геоэкологические явления, приводящие к негативным последствиям.

Ключевые слова: геоэкология, литосфера, геодинамика, объекты нефтегазовой промышленности, природопользование.

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. The interrelation and interdependence of geodynamic processes occurring in a multiscale geological and geophysical environment is considered. Ecogeodynamic situations and geoecological phenomena leading to negative consequences are shown.

Keywords: lithosphere, geodynamics, geoecology, oil and gas industry facilities, environmental management.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Фундаментальный базис инновационных, цифровых технологий прогноза, поиска, разведки и освоения нефтегазовых ресурсов (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 года)», № FMME-2025-0012, № 125021302095-2.

Экологическая геология изучает многообразие геохимических, геофизических, геодинамических и ресурсных функций. Эти функции определяют и отражают роль и значение литосферы, включая нефть, газы, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы. Выявление природных факторов геоэкологического риска позволяет выработать объективную стратегию рационального природопользования.

Фундаментальная особенность геологической среды заключается в том, что она иерархически устроена и пространственно структурирована. Деформируемая геологическая среда сложно и многопорядково структурирована, причем тектоническая деформация протекает обычно на всех структурных уровнях сразу, так что одна и та же материальная точка может одновременно быть участником различных деформационных процессов, протекающих на различных масштабных уровнях геологических структур. Функционирование систем геологической среды более низкого ранга имеет направленность и подчиненность системам более высокого уровня.

В высоковязкой литосфере время формирования структур охватывает многие миллионы лет, а следы их остаются в земной коре и наблюдаются на космических снимках [1, 2]. Геодинамические явления бывают результатом эндогенного, экзогенного и гравитационного взаимодействия и, имея общую физическую основу, отличаются только масштабами и формами проявления.

В геологических науках ученые занимаются прогнозом явлений ближнего, среднего и дальнего порядка. В большей мере это относится к климатологии, прогнозу погоды, землетрясений и других явлений, прогноз размещения и поисков месторождений полезных ископаемых [3].

Геоэкологические проблемы – последствия изменения геолого-геофизической среды под воздействием разномасштабных процессов, приводящих к негативным последствиям в недрах. Геоэкологические исследования базируются на методах, обеспечивающих оценку рисков возникновения природных чрезвычайных ситуаций.

Фрактальная структура геологической среды, насыщенной флюидами, на различных структурных уровнях и при определенных условиях, вызывает процессы самоорганизации развития трещин с быстрым переходом процесса релаксации с микро на макроуровни.

Флюидодинамика сопровождается переносом и образованием новых минеральных ассоциаций. В земной коре одновременно развиваются геохимические и геодинамические процессы, в том числе происходят физико-химические и структурно-химические преобразования геологического вещества. В этих условия возможно растворение, сорбция, гидратация, а также метасоматоз. Изменения фазово-

го и агрегатного состояния вещества, а также дегидратация химически связанной воды, приводят к преобразованию минералов в другие разновидности.

Процесс дегазации из недр постоянен, всеобъемлющ и глобален, чаще всего это – смесь углеводородов, гелия и радона в рифтовых зонах, при землетрясениях, извержениях вулканов, из разломов земной коры, кимберлитовыых трубок, некоторых шахт и скважин. В общий водородный баланс добавляют и реакции гидролиза океанической воды при амфобилизации, хлоритизации и серпентинизации пород мантии в зонах субдукции [4].

Белесые круги на полях, вздутия почвы, взрывные воронки, карстовые провалы, метеоритные, глубокие круглые озера, лагуны атоллов и вулканы свидетельствуют о выходах газа и кардинально отличаются друг от друга по расположению, по форме и внутренней структуре. Аналогичные структуры наблюдаются на всех континентах [1]. Отдельные примеры приведены на рисунке 1.

а) б) в)

Рисунок 1 – а) космический снимок – кольцевые структуры проседания, б) – газовый кратер Дарваза (Туркмения), в) действующий вулкан Эребус (побережье Антарктиды) [4, 5, 6]

В 2011 году геофизиком Андресом Рузо в Перу обнаружен кипящий водоем, хотя неподалеку нет геотермального источника, а до ближайшего вулкана 700 километров (рис. 2) [7].

Рисунок 2 – Кипящая река Шанай-Тимпишка [7]

На озере Ниос (Камерун), образовавшемся в кратере потухшего вулкана, в августе 1986 года произошла трагедия, унесшая жизни более 1700 человек и тысяч животных (рис. 3) [8].

а) б) в)

Рисунок 3 – Озеро Ниос (а – до катастрофы, б, в – после катастрофы) [8]

Поскольку углекислый газ тяжелее воздуха, после выброса он скапливался на поверхности земли и вытеснял кислород, формируя облако, заполняющее низменности вокруг озера. Люди и животные, находившиеся в зоне действия облака, не могли дышать и быстро теряли сознание. Процесс был стремительным. Область вокруг озера превратилась в зону отчуждения. Ученые обнаружили, что подобные события могут произойти и в других водоемах с аналогичными условиями [8].

Природные события (вулканические извержения, землетрясения, падение космических тел на Землю) рассмотрены в качестве локальных индикаторов интенсификации межгеосферных взаимодействий в приповерхностной системе литосфера-атмосфера с активным участием ионосферы. Показано, что в этих случаях вызванные эффекты в геофизических полях наблюдаются на значительных расстояниях от очага событий и характеризуются сходными по величине амплитудами. Именно в периоды экстремальных природных явлений особенно ярко проявляются процессы обмена массой и энергией в системе литосфера-атмосфера-ионосфера, в которых протекают геофизические процессы на Земле [9].

Примеры закономерного проявления геодинамических явлений, приводящие к изменению среды, установлены повсеместно. На карте 1794 года Тверской губернии есть озеро Великое и еще два озера, а многих других нет, и появляются они только на картах 19 века. Формы озер до 19 века другие, чем сегодня. На месте нескольких деревень в 18 веке сегодня озера среди огромных болот (рис. 4) [10].

Рисунок 4 – Озера и болота Тверской губернии [10]

По данным спутниковых снимков в Турции, в районе впадины Конья, земная кора медленно погружается, формируя круговую структуру, создавая депрессию (впадину). За последние 10 миллионов лет высота Центрального Анатолийского плато увеличилась примерно на километр. Однако впадина Конья опускается со скоростью около 20 миллиметров в год. Это может казаться незначительным, но опускающийся участок земли в регионе, который поднимается – это факт [11].

С процессами глубинной дегазации установлена связь очагов нефтегазообразования и каналов миграции углеводородов [12]. Углеводородонасыщенные разрезы являются согласованными, соподчиненными толщами с иерархической структурой. Динамика углеводородов тесным образом связана с тектоно-, и литогенезом.

Геохимический анализ флюидов, поступающих по геосолитонным трубкам, показал, что содержание водорода, гелия и метана превышает среднее фоновое содержание этих же газов в 40–50 раз, а содержание редкоземельных элементов, металлов, марганца и ртути в 3–11 раз [12].

Газовые растворы, состоящие из водорода, гелия, метана и других газов находятся под большим давлением. Потоки глубинной геосолитонной дегазации на своем пути встречают различные по своим физическим свойствам горные породы и флюиды, образуя локальные системы [12].

Обычно в нефти много асфальтенов, представляющих собой хрупкие твердые вещества черного или бурого цвета, поэтому чаще всего она (нефть) черного и темно-коричневого цвета. Чисто черная нефть встречается редко, например, ее добывают на месторождениях Татарстана. Чем меньше асфальтенов в нефти, тем более ярким и необычным может быть ее цвет. Причиной цвета является содержание и комбинации других компонентов.

Содержание смол способствует окрашиванию нефти теплыми красно-коричневыми и желтыми оттенками. Зеленый цвет придают соединения с серой и ионы металлов. Синий оттенок, предположительно, перилены – углеводороды, которые могут флюоресцировать голубым светом. В Самарской и Оренбургской областях встречается красная нефть. На юге Оренбургской области в 2023 году нашли новое месторождение легкой нефти ярко оранжевого цвета, не содержащей примесей..

На Восточно-Мессояхском месторождении добывают нефть сразу нескольких цветов: с глубины 3–4 километров – оранжевую, а из пластов выше – зеленоватую. Ярко-зеленой нефтью богаты ме-

сторождения Ирана, в Северной Америке тоже есть нефть такого оттенка. Самая редкая нефть – бесцветная (прозрачная). Она считается наиболее ценной, потому что почти не содержит примесей и не требует многоэтапной очистки. Такая нефть встречается в Западной Сибири и Азербайджане [13].

Требования к технологии, эксплуатации и конструкциям всех технических сооружений определяются геологическими условиями, которые существуют объективно [14].

Объекты нефтегазового комплекса объединяют группы отраслей по добыче, транспортировке, хранению, переработке нефти, газа и распределению продуктов переработки.

Подземные хранилища газа (ПХГ) являются объектами долговременной эксплуатации и требуют дополнительного контроля за возможными утечками газа, обусловленными геологическими причинами.

Прогнозирование перетоков газа по разрезу, проникновение в водоносные горизонты и за пределы проектного контура, формирование вторичных залежей и выход на поверхность возможно только при изучении степени вовлеченности геодинамических процессов различного масштаба в процесс функционирования объектов.

На всех объектах функционирует система: геолого-геофизическая среда – сооружения – окружающая среда, которая характеризуется взаимосвязью и взаимозависимостью всех составляющих. Система оказывает влияние на характер протекания всех природных, геологических, геодинамических, экзогенных и атмосферных процессов. То есть формируется экологическая обстановка не только на самих объектах, но и на окружающих их территориях. Условно существуют нарушения окружающей среды: геохимические, химические, параметрические и физико-механические. К осложнениям относятся: разрушение пласта-коллектора, вынос песка и воды, образование газогидратов, скопление газа в низкопроницаемых пластах, неполное освоение пласта, накопление и испарение конденсационной воды над глинистой пробкой, поглощения [14].

Наш подход представляет собой взаимосвязанные элементы различных методов полевой геофизики, бурения, гидродинамических испытаний, современной компьютерной обработки и моделирования, геологической интерпретации на базе новейших геологических концепций, включая геосолитонную концепцию эволюцию Земли [12]. Взаимодействие между физическими полями и различными процессами внутри Земли неизбежно приводит к появлению нелинейностей и солитонным эффектам, которые отражают самоорганизацию физических полей и геологических процессов [1, 15].

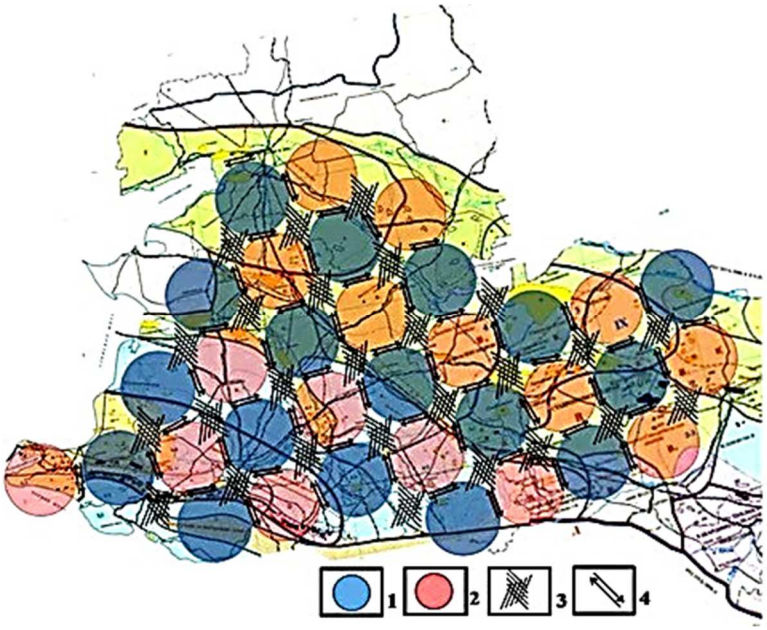
На Калужской кольцевой структуре (ККС) при заполнении Калужского подземного хранилища газа (ПХГ) газ поступает в Якшуновское ПХГ. Кроме тектонических нарушений ККС характеризуется различием литологического состава пород, изолированностью отдельных блоков, наличием экранирующих участков с уменьшенной проницаемостью. На локальном уровне исследований на Калужском ПХГ фиксируется газогидродинамическая связь гдовского пласта-коллектора с вышележащими отложениями. В результате вертикальной миграции свободный газ обнаружен в коллекторах почти всех водоносных горизонтов площади. Газ, мигрирующий из основного пласта-коллектора проникает в вышележащие проницаемые породы, образуя в них вторичную, техногенную газовую залежь. Изменения наблюдаются и на других ПХГ [14]. На Невском обнаружены участки уплотнения и разуплотнения толщи, а на Касимовском наблюдается значительная фациальная изменчивость [14].

На Щелковской структуре развитие газовой залежи происходит в северо-западном направлении Солнцевского поднятия и, возможно, образование резервуара аккумуляции мигрировавшего газа, откуда он частично возвращается при отборе (рис. 5).

Рисунок 5 – Карта-схема геодинамической неустойчивости геолого-геофизической среды Щелковского ПХГ (Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова, составлена на основе структурной карты [16])

Особенности флюидодинамики залежей имеют сходство с поведением флюидного режима геологических структур, исследованных ранее [14]. Геологическими причинами утечек газа могут быть не только тектонические нарушения, но и ослабленные проницаемые зоны, составляющие структуру единого поля Земли.

При построении геодинамической карты-схемы западной и центральной части Северного Предкавказья (рис. 6) выявлена пространственно-временная закономерность геологического строения и флюидодинамики.



1 – участки действия преимущественно восходящего вектора поля напряжений, действующего с глубины 180 км;
2 – участки действия преимущественно нисходящего вектор поля напряжений;
3 – участки, сопредельных территорий, спокойного залегания осадочной толщи для данного масштаба исследований;
4 – участки одновременного сжатия и растяжения со сдвиго-надвиговыми деформациями

Рисунок 6 – Геодинамическая карта-схема западной и центральной части Северного Предкавказья (Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова, составлена на основе [17, 18])

Знание особенностей и закономерностей распределения полей напряжений в геологической среде позволяет контролировать развитие геоэкологической ситуации на *природно-геоэкотехнической* геодинамической системе, особенности строения и функционирования которой определяются сложностью и большим разнообразием способов техногенного вмешательства в геологическую и окружающую среду.

Исследования подтверждаются имеющейся геолого-геофизической информацией по отдельным объектам нефтегазового комплекса [14].

Экогеодинамическая ситуация и геодинамические условия обусловили закономерности структурирования геологической среды. Выявлены возможные направления перетоков газа по вертикали и латерали. Установлены уровни, благоприятные для аккумуляции газа [14].

Построение моделей формирования и развития ловушек углеводородов в разных геологических условиях позволяет определить вероятные изменения литологического состава горных пород и направлений естественной миграции углеводородов. Это необходимо для оконтуривания участков развития повышенной трещиноватости, определения вероятного изменения литологического состава (неоднородностей коллектора), вероятных направлений естественной миграции углеводородов и природных фильтрационных потоков в пласте.

Геоэкология и природопользование тесно взаимосвязаны. Проявления техногенных изменений в недрах очень разнообразны. Учитывая высокую значимость объектов нефтегазового комплекса, подтвержденную на практике, можно разработать методы регулирования искусственных воздействий, их согласования с ходом естественных воздействий и оптимизации последствий.

Расширение и координирование исследований по геоэкологически сбалансированному освоению природных ресурсов и состоянию техносферы, в целом, позволит свести к минимуму ошибки в планировании и просчеты в выполнении всего комплекса влияния эндогенной природной среды на биосферу и человеческое общество.

Список литературы:

1. Казанкова Э.Р. Пространственная системно-иерархическая организация геологических объектов / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Булатовские чтения. – 2024. – Т. 1. – С. 36–44.

2. Казанкова Э.Р. Закономерности нефтегазоносности недр на основе структурно-динамического районирования / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Естественные и технические науки. – 2024. – № 9(196). –С. 85–91.

3. Летников Ф.А. Синергетические аспекты геологического развития Земли // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 6–11.

4. Дабахов И. Водородное дыхание Земли // idabahov.ru. URL : https://idabahov.ru/vodorodnoe-dyhanie-zemli (дата обращения 16.03.2024).

5. Роковая ошибка советских геологов – почему 50 лет не могут потушить кратер в пустыне Туркменистана // Ваша планета. URL : https://dzen.ru/a/YZiCmGKWNxFbRnU5 (дата обращения 03.03.2024).

6. Петриченко Р. Гора Эребус: активный вулкан в Антарктиде, на вершине которого скрыто озеро из лавы // travelask.ru. – URL : https://travelask.ru/blog/posts/40011-gora-erebus-aktivnyy-vulkan-v-antarktide-na-vershine-kotorog (дата обращения 11.09.2024).

7. Фролова О. Шанай-Тимпишка: тропическая река, в которой вместо воды течет кипяток // travelask.ru. – URL : https://travelask.ru/blog/posts/11446-shanay-timpishka-tropicheskaya-reka-v-kotoroy-vmesto-vody-te (дата обращения 11.11.2024).

8. Фролова О. Озеро-убийца Ниос: история самой страшной лимнологической катастрофы на планете // travelask.ru. – URL : https://travelask.ru/blog/posts/9468-ozero-ubiytsa-nios-istoriya-samoy-strashnoy-limnologicheskoy (дата обращения 11.01.2025).

9. Адушкин В.В. Воздействие экстремальных природных событий на геофизические поля в среде обитания / В.В. Адушкин, А.А. Спивак // Физика Земли. – 2021. – № 5. – С. 6–16.

10. Конышева Г. Тайны круглых озер // Сознание 21 век. – URL : http://soznanie21vek.ru/iskazhenie-istorii/taynyi-kruglyih-ozer-2-chast-tverskoy-uzel (дата обращения 10.11.2024).

11. Странное открытие: земная кора капает в недра планеты // Наука. – URL : https://dzen.ru/a/ZvqDy8TYZy-VIXM4 (дата обращения 14.12.2024).

12. Бембель Р.М. Эфир-геосолитонная концепция растущей Земли. –Тюмень : ТИУ, 2016. – 394 с.

13. Губина Д. Что делает нефть черной // Энергия +. – URL : https://e-plus.media/ecology/chto-delaet-neft-chernoj (дата обращения 15.03.2025).

14. Казанкова Э.Р. Геоэкологическое взаимодействие природно-технических систем (на примере отдельных объектов нефтегазового комплекса) / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Естественные и технические науки. – 2024. – № 10(197). – С. 143–150.

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

16. Казанкова Э.Р. Геоэкологические проблемы подземных хранилищ газа (на примере Московского региона) / Э.Р. Казанкова, Н.В. Корнилова // Бюллетень МОИП, отдел биологический. – 2009. – Т. 114. – Вып. 3. – Прилож. 1. – Ч. 1. –С. 388–397.

17. Чернышев С.М. Карта нефтегазоносности Восточного Предкавказья (Ставропольский край, республики: Дагестан, Чечня-Ичкерия, Ингушетия, Северная Осетия, Кабардино-Балкария, Карачаево-Черкессия). Масштаб 1: 1000000 / С.М. Чернышев, З.И. Жорина, Б.С. Данков; Ред. Э.М. Халимов. – М. : ВНИГНИ, 1996.

18. Шумова Т.Ф. Карта нефтегазоносности Западного Предкавказья (Краснодарский край, Республика Адыгея, южные районы Ростовской области). Масштаб 1: 1000000 / Т.Ф. Шумова, З.И. Жорина, С.М. Чернышев; Ред. Э.М. Халимов. – М. : ВНИГНИ. –1996.

List of references:

1. Kazankova E.R. Spatial systemic-hierarchical organization of geological objects / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Bulatovskie readings. – 2024. – Vol. 1. – P. 36–44.

2. Kazankova E.R. Regularities of oil and gas potential of the subsoil based on structural-dynamic zoning / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Natural and technical sciences. – 2024. – № 9(196). – P. 85–91.

3. Letnikov F.A. Synergetic aspects of the geological development of the Earth // Proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2011. – Vol. 319. – № 1. – P. 6–11.

4. Dabakhov I. Hydrogen Breath of the Earth // idabahov.ru. – URL : https://idabahov.ru/vodorod noe-dyhanie-zemli (date of application 03.16.2024).

5. The fatal mistake of Soviet geologists – why they have not been able to extinguish the crater in the desert of Turkmenistan for 50 years // Your planet. – URL : https://dzen.ru/a/YZiCmGKWNxFbRnU5 (date of application 03.03.2024).

6. Petrichenko R. Mount Erebus: an active volcano in Antarctica, at the top of which a lava lake is hidden // travelask.ru. – URL : https://travelask.ru/blog/posts/40011-gora-erebus-aktivnyy-vulkan-v-antarkti de-na-vershine-kotorog (date of application 11.09.2024).

7. Frolova O. Shanay-Timpishka: a tropical river in which boiling water flows instead of water // travelask.ru. – URL : https://travelask.ru/blog/posts/11446-shanay-timpishka-tropicheskaya-reka-v-kotoroy-vmesto-vody-te (date of application 11.11.2024).

8. Frolova O. Killer Lake Nyos: the history of the worst limnological catastrophe on the planet // travelask.ru. – URL : https://travelask.ru/blog/posts/9468-ozero-ubiytsa-nios-istoriya-samoy-strashnoy-limnologicheskoy (date of application 11.01.2025).

9. Adushkin V.V. The impact of extreme natural events on geophysical fields in the habitat / V.V. Adushkin, A.A. Spivak // Physics of the Earth. – 2021. – № 5. – P. 6–16.

10. Konysheva G. Secrets of the Round Lakes // Consciousness 21st century. – URL : http://soznanie21vek.ru/iskazhenie-istorii/taynyi-kruglyih-ozer-2-chast-tverskoy-uzel (date of application 11.10.2024).

11. A strange discovery: the Earth's crust is dripping into the planet's interior // Science. – URL: https://dzen.ru/ a/ZvqDy8TYZy-VIXM4 (date of application 14.12.2024).

12. Bembel R.M. Ether-geosolithonic concept of the growing Earth. –Tyumen : TIU, 2016. –394 p.

13. Gubina D. What makes oil black // Energy +. URL : https://e-plus.media/ecology/chto-delaet-neft-chernoj (date of application 03.15.2025).

14. Kazankova E.R. Geoecological interaction of natural and technical systems (on the example of individual objects of the oil and gas complex) / E.R. Kazankova, N.V. Kornilova // Natural and technical sciences. – 2024. – № 10(197). – P. 143–150.

15. Shipov G.I. Theory of physical vacuum. Theory, Experiments and technologies. – M. : Nauka Publ., 1997. – 450 p.

16. 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 MOIP, biological department. – 2009. – Vol. 114. – Iss. 3. – Appendix 1. – Part 1. – P. 388–397.

17. Chernyshev S.M. Oil and gas potential map of the Eastern Ciscaucasia (Stavropol Krai, republics: Dagestan, Chechnya-Ichkeria, Ingushetia, North Ossetia, Kabardino-Balkaria, Karachay-Cherkessia). Scale 1: 1000000 / S.M. Chernyshev, Z.I. Zhorina, B.S. Dankov; Ed. E.M. Khalimov. – M. : VNIGNI. – 1996.

18. Shumova T.F. Oil and gas potential map of the Western Ciscaucasia (Krasnodar Territory, Republic of Adygea, southern regions of Rostov Region). Scale 1: 1000000 / T.F. Shumova, Z.I. Zhorina, S.M. Chernyshev; Ed. E.M. Khalimov. – M. : VNIGNI. –1996.