

ИЗУЧЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРЫ БЕШТАУ В СВЯЗИ С ОПАСНОСТЬЮ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Н.А. Гордеев, И.В. Бондарь

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, gord@ifz.ru, bond@ifz.ru

Целью работ является оценка напряженно-деформированного состояния и геодинамического режима района горы Бештау. В качестве основной причины изучения новейшей тектоники района горы Бештау рассматривается высокая опасность радиоактивного заражения близлежащих городов и поселений вследствие разгрузки подземных вод массива трещиноватых кристаллических пород через горные выработки. В ходе выполнения работ решались следующие основные задачи:

1. Первичная обработка измеренных геологических стресс-индикаторов в районе горы Бештау;
2. Сопоставление результатов реконструкций локальных стресс-состояний с положением основных урановых жил Бештаугорского рудника.

Результаты реконструкций позволяют понять, в каком состоянии находятся коренные породы (геодинамический режим) и выяснить некоторые подробности развития разломных зон.

Введение. Бештаугорское урановое месторождение расположено в центральной части региона Кавказские Минеральные Воды (КМВ) на территории Ставропольского края на густонаселенной территории и отстоит всего в 3 км к юго-западу от г Железноводска и в 5 км к северо-западу от г Пятигорска (рис. 1). Данное месторождение связано с интрузией бештаунитов неоген-четвертичного возраста и разрабатывалось с 1949 г по 1975 г горнодобывающим предприятием ЛПО «Алмаз», а с 1975 г – ОАО ГМЗ. Первый рудник был образован в результате слияния в 1952 г двух рудников - Восточного и Западного, начавших добычу урана в августе 1950 года. В настоящее время поддерживаются в рабочем состоянии только выработки, обеспечивающие эксплуатацию радоновых скважин для снабжения радонолечебниц г Пятигорска [Мелентьева, 2008].

Потенциальную опасность представляет Бештаугорское гидротермальное урановое месторождение приуроченное к интрузиям трахилипаритов и липаритов неогенового возраста. Интенсивные тектонические процессы, сопровождающиеся образованием многочисленных открытых крутопадающих трещин, создали благоприятные условия для отложения минералов из циркулировавших по ним гидротермальных растворов. Урановое оруденение приурочено в основном к тектоническим зонам, представляющие собой интенсивно брекчированные или милонитизированные осветленные трахилипариты или липариты. В пределах горы Бештау были разведаны следующие ураноносные жильные системы (в порядке с севера на юг) [Шведенко, 1957]:

- жильная система Орлиные скалы;
- жильная система Лохматый курган;
- жильная система Скала;
- жильная система Промежуточная;
- жильная система Гремучка;

Из всех известных рудоносных жильных систем и отдельных рудных участков жильная система Скала является самой крупной, наиболее разведанной и минерализованной. В ней сосредоточено около 98% урановых руд. Рудные структуры являются разрывными нарушениями северо-восточного простирания, полости которых выполнены милонитизированными породами. Падение их преимущественно северо-западное, крутое (70-90°), встречается и юго-восточное. На глубине количество зон оруденения уменьшается в результате их сочленения. Мощность зон – 0.5-2.5 м, в местах пересечения с нарушениями меридионального и северо-западного простирания она значительно увеличивается. К таким участкам приурочены наиболее крупные рудные тела, образующие рудные столбы, линзы и жилы [Глинский, 2011].

Гидрогеологически район входит в Кавминводский гидрогеологический подрайон и располагается в пределах Минераловодского артезианского бассейна. Структура г Бештау представляет собой своеобразное внедрение магмы в неоген-четвертичное время через моноклинально залегающие осадочные породы дочетвертичного возраста. Интрузив проникает через толщу глинистых пород олигоцена к поверхности и вдоль северо-восточного склона массива

Козьих скал обнажается вся гамма осадочных пород от аптского яруса до верхнего хадума (нижний олигоцен) включительно, которые в виде крупной глыбы вынесены восходящей интрузией гранитпорфиров, образующих на поверхности горы-лакколиты, куполообразные структуры, в результате чего геологический разрез осложнен многочисленными нарушениями, в основном, кольцевого и полукольцевого вида (рис. 2) [Боревский, 2009ф] и осадочные породы находятся в опрокинутом залегании (рис. 1 и 2).

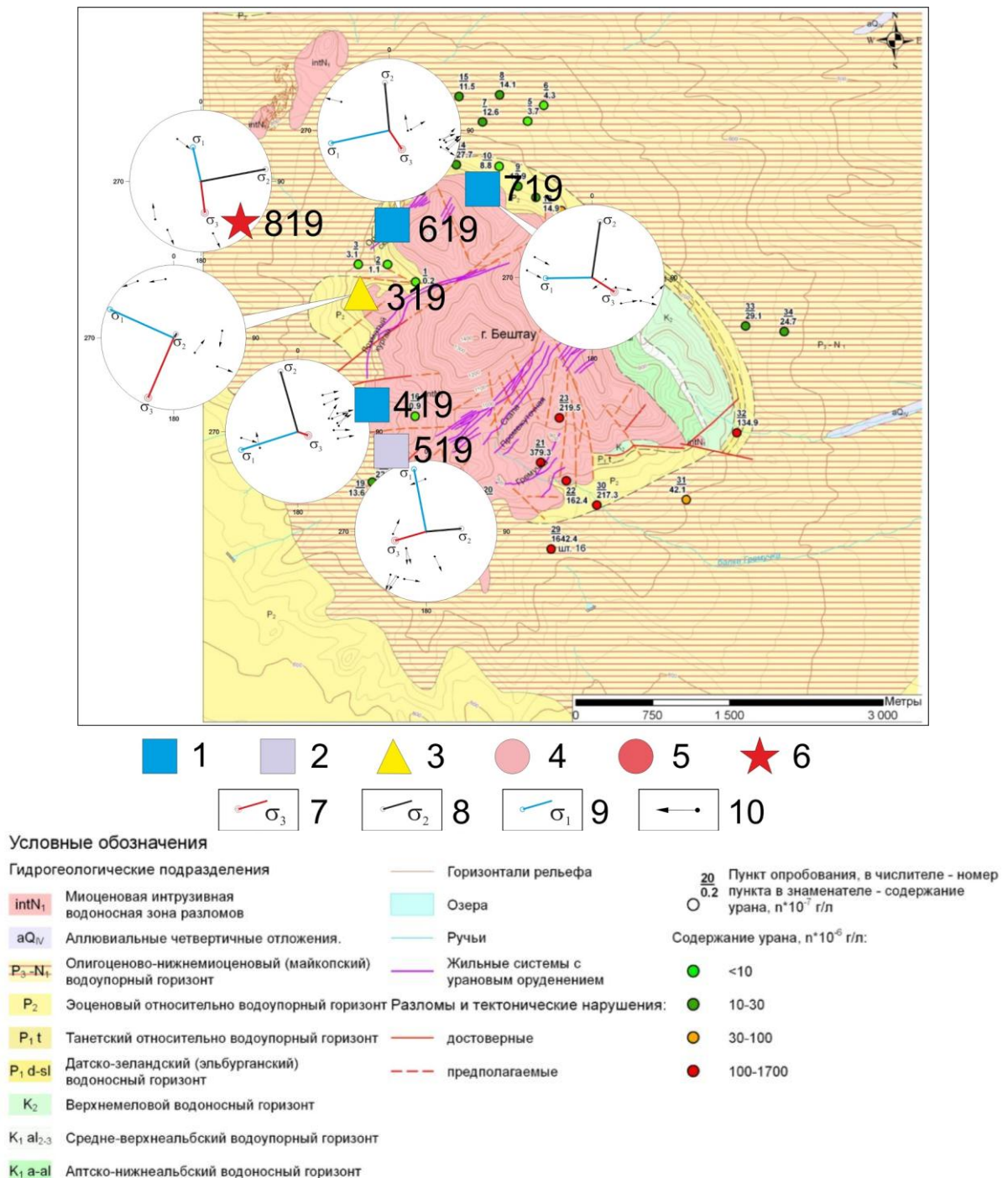


Рис. 1. Результаты реконструкций локальных стресс состояний наложенные на упрощенной геологической схеме с содержанием U в водах родников, штольневых и поверхностных водах горы Бештау (по данным опробования 2011 г. [Глинский, 2011]).

Круговые диаграммы (стереографическая проекция на верхнюю полусферу), показывающие полюса плоскостей тектонических трещин разного кинематического типа и положения осей главных напряжений, определенных методом катакластического анализа в точках наблюдения. 1-6 – типы геодинамических обстановок (в горизонтальной плоскости): 1 – растяжение; 2 – растяжение в сочетании со сдвигом; 3 – сдвиг; 4 – сжатие со сдвигом; 5 – сжатие; 6 – сдвиг в вертикальной плоскости (взрез); 7-10 – результирующие круговых диаграмм: 7 – ось математически максимального сжатия; 8 – ось математически промежуточного сжатия; 9 – ось математически минимального сжатия; 10 – вектора перемещений по трещинам в точке полюса

Наиболее гидрогеологически активными являются малоамплитудные полукольцевые зоны разломов и сопутствующие им зоны повышенной тектонической трещиноватости осадочных пород, опоясывающие горы-лакколиты с юга и с запада [Боревский, 2009ф]. В зоне внедрения интрузивного массива горы Бештау в толщу осадочных пород образовалась брахискладка куполовидной формы, причем на юго-западе этого массива осадочные породы характеризуются небольшой амплитудой их поднятия – до 200 м для нижнемеловых отложений, а на северо-восточном склоне этого горного массива породы нижнего мела с глубины 1300 м были подняты на дневную поверхность [Боревский, 2009; Мелентьева, 2009].

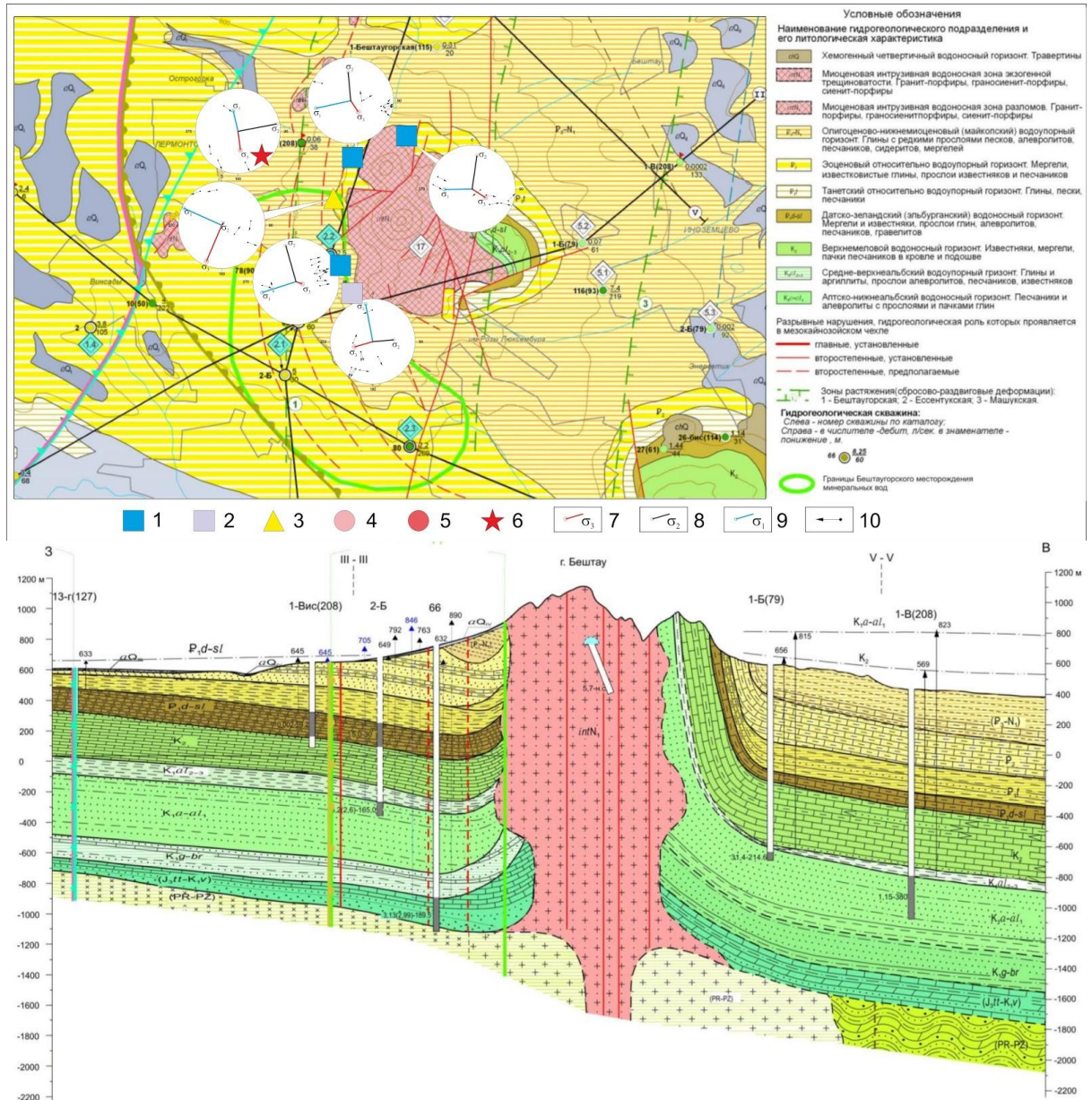


Рис. 2. Результаты реконструкций локальных стресс состояний наложенные на геолого-гидрогеологическую схему района горы Бештау и разрез по линии II-II к ней (Масштаб 1:200000) [Боревский, 2009].

Круговые диаграммы (стереографическая проекция на верхнюю полусферу), показывающие полюса плоскостей тектонических трещин разного кинематического типа и положение осей главных напряжений, определенных методом катакlastического анализа в точках наблюдения. 1-6 – типы геодинамических обстановок (в горизонтальной плоскости): 1 – растяжение; 2 – растяжение в сочетании со сдвигом; 3 – сдвиг; 4 – сжатие со сдвигом; 5 – сжатие; 6 – сдвиг в вертикальной плоскости (взрез); 7-10 – результирующие круговые диаграмм: 7 – ось математически максимального сжатия; 8 – ось математически промежуточного сжатия; 9 – ось математически минимального сжатия; 10 – вектора перемещений по трещинам в точке полюса

Методика. Метод катакlastического анализа позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний: положение осей главных напряжений и коэффициент Лоде–Надаи [Ребецкий, 1997, 1999, 2003]. Реконструкция напряженно-деформированного состояния проводится по данным полевых замеров

пространственной ориентировки зеркал скольжения. Для реконструкции используется программа STRESSgeol, разработанная в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН [Ребецкий и др., 2017, 2019].

Результаты реконструкций напряжений. Точки наблюдения тяготеют к краевым частям массива, представленные скальными выступами магматических пород (бештауниты неоген-четвертичного возраста). Получено 7 реконструкций из 9 точек наблюдения. В работе к демонстрации выбраны 6 реконструкций. Описание стереограмм ведется последовательно с севера на юг (рис. 1):

В северной части массива, в точках наблюдения 619 и 719 ось максимального сжатия субвертикально падает на северо-запад, а ось растяжения имеет субширотную ориентировку и полого падает на восток. Окольцовывая небольшой структурный участок массива, отделенный разломами северо-западной ориентировки и системой ураноносных жил “Лохматый курган”, г Малый Тау.

В западной части массива, в центральной его части, точки наблюдения 319 ось максимального сжатия имеет северо-восточную ориентировку с субгоризонтальным погружением. Ось максимального растяжения также субгоризонтальна с юго-восточным субгоризонтальным погружением. Точка наблюдения приурочена к разломной зоне и ураноносным жилам “Лохматый курган”.

В точке 419 ось максимального сжатия субвертикально погружается на северо-запад, а ось максимального растяжения полого погружается на восток-северо-восток, находясь при этом в близости от разрывного нарушения широтного простирания и субвертикального падения с севера и с юга.

В точке 519 ось максимального сжатия субширотная с средним углом (около 45°) погружения на восток, а ось максимального растяжения субмеридиональная, субгоризонтально-погружающаяся на юг. Точка наблюдения приурочена к крупной разломной зоне с сопутствующим ей наиболее богатым урановым жильным орудинением “Скала”.

Точка наблюдения 819 лежит за пределами интрузива и имеет резкие отличия в положениях осей. Ось максимального сжатия субмеридионально под углом 45° погружается на север, а ось растяжения с таким же простиранием и углом погружается на юг.

Помимо реконструкций проводились измерения содержания урана в родниковых источниках [Глинский, 2011]. Концентрация урана с севера на юг плавно увеличивается с допустимых значений к недопустимым: (т.н. 319-619-719) концентрации 1.1 - $30 \cdot 10^{-6}$ г/л до (т.н. 419-519) концентрации 13.6 - $217.3 \cdot 10^{-6}$ г/л что говорит о возможной наибольшей реактивизации разломов южной части массива в новейшее время. Вследствие чего высвобождение флюидов с глубоких горизонтов идет интенсивнее.

При общем рассмотрении полученных геодинамических режимов по периферии массива отмечаются в основном обстановки растяжения: в точках 419, 619 и 719 обстановка горизонтального растяжения, в точке 519 обстановка горизонтального растяжения со сдвигом. Тем самым указывая на интрузивную природу массива г Бештау. Также это может быть связано с развитием интрузии в новейшее время, а именно поднятием центральной части массива и его “разваливанием”. Похожее развитие интрузивного тела в новейшее время наблюдается в Мурманской области в Хибинском щелочном массиве, что рассматривается в работах [Жиров и др., 2018; Бондарь, 2019]. В центре Хибинского массива фиксируются положительные вертикальные движения и обстановки горизонтального сжатия. А по краям массива наблюдаются обстановки горизонтального растяжения. Считается, что Хибинский массив развивается по типу протрузивного поднятия приповерхностной центральной части со смещением от центра к периферии за счет разгрузки избыточных горизонтальных напряжений.

В точке 319 получен геодинамический режим горизонтального сдвига, что подчеркивает реактивизацию, или продолжительную “жизнь” разрывной зоны в области уранового оруденения “Лохматый курган”.

Точка наблюдения 819 охарактеризована, как взрез, или сдвиг в вертикальной плоскости, что, возможно, связано со сложным строением вмещающих пород (рис. 2, разрез). Так как при внедрении интрузий осадочный чехол испытывал сильные деформации как пликативные, так и дизъюнктивные.

Выводы. Зафиксированные обстановки горизонтального растяжения по периферии интрузии возможно связаны с новейшим развитием массива г Бештау - поднятием в центральной части и

разгрузкой избыточных горизонтальных напряжений к краям массива. Помимо этого подчеркнута активность разломных зон, что говорит о повышенной потенциальной угрозе разгрузки радиоактивных подземных вод и газов (радон).

Г Малый Тау отделен разломной, рудоносной зоной “Лохматый курган” от г Бештау, и вероятно, разрастается на север-северо-запад, так как оси максимального сжатия однонаправлены на север-северо-восток. А в точках 419 и 519 фиксируется разнонаправленность на запад и на восток соответственно, подчеркивающая лево-сдвиговую кинематику по разломной зоне “Скала”.

Таким образом требуется доизучение центральной, южной и юго-восточной части г Бештау, так как есть не подтвержденные выводы и гипотезы, относительно кинематики разломных зон и сценария развития массива в новейшее время по “типу Хибин”.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондарь И.В., Маринин А.В.* Напряженно-деформированное состояние Хибинского массива по данным полевых тектонофизических исследований // Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах. Пермь. 2019. Т. 21. С. 388-393.
2. *Боревский Б.В., Абрамов В.Ю., Ершов Г.Е., Федоров А.В., Язвин.* Отчет о переоценке эксплуатационных запасов минеральных вод Ессентукского и Бештаугорского месторождений, в 8-ми книгах. Кн. 1. ГИДЭК. Москва. 2009. ФГУНПП «Росгеолфонд».
3. *Глинский М.Л. и др.* Гидрогеологический отчет: Гидрогеологические, гидрогеохимические и радиологические условия, Бештаугорский урановый рудник, прогноз изменения гидродинамических условий вследствие реабилитации, родниковый сток, мониторинг уровней и химического состава подземных вод. В 2-х книгах. «Гидроспецгеология». Кн. 1. Москва. 2011. ФГУНПП «Росгеолфонд».
4. *Жиров Д.В., Маринин А.В., Жирова А.М., Сим Л.А.* Неотектоника южной части Хибинского массива: результаты комплексной интерпретации противоречивых явлений // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2018. Т. 15. С. 140-143. DOI: 10.31241/FNS.2018.15.033
5. *Мелентьева Н.М., Барановский А.Ф.* Отчет по НИР «Создание и поддержка системы объектного мониторинга состояния недр на предприятиях ГК «Росатом» Книга 5. «Оценка современного состояния геологической среды в районе размещения объектов бывшего госпредприятия «Алмаз» и прилегающих территорий». Москва. 2008. ФГУНПП «Росгеолфонд».
6. *Ребецкий Ю.Л.* Реконструкция тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций: методические основы, поле современных напряжений Юго-Восточной Азии Океании // Доклады РАН. 1997. Т. 354, № 1. С. 101-104
7. *Ребецкий Ю.Л.* Методы реконструкции тектонических напряжений и сейсмотектонических деформаций на основе современной теории пластичности // Доклады РАН. 1999. Т. 365, № 3. С. 392-395.
8. *Ребецкий Ю.Л.* Напряженно-деформированное состояние и механические свойства природных массивов по данным о механизмах очагов землетрясений и структурно-кинематическим характеристикам трещин // Дис. док. физ.мат. наук. М.: Изд. ОИФЗ. 2003. 455 с.
9. *Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В.* От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методики и алгоритмы. М.: ГЕОС. 2017. 234 с.
10. *Ребецкий Ю.Л., Маринин А.В., Сим Л.А.* Проблема интерпретации результатов тектонофизической реконструкции палеонапряжений и возможные пути ее решения // Геология и геофизика. 2019. Т. 60 (6). С. 860-880
11. *Шведенко П., Бадалян Г., Пац В.* Геологическое строение и история формирования месторождений и рудопроявлений ураноносной провинции КМВ. (Отчет по разделу II темы «Закономерности образования, размещения и поисковые признаки гидротермальных месторождений урана в районе КМВ»). Т. 1. Месторождения урана. Кольцовская экспедиция. Ессентуки. 1957. ФГУНПП «Росгеолфонд».