

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
имени А.П. Карпинского» (ФГБУ «Институт Карпинского»)

На правах рукописи



Енгальчев Святослав Юрьевич

**РЕНИЕНОСНОСТЬ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Специальность 1.6.10 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Научный консультант:
доктор геол.-минер. наук,
Е. Г. Панова

Москва, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕНИИ.....	13
1.1. Краткие сведения о геохимии рения.....	13
1.2. Природные источники рения и сферы его использования	16
1.3. Ренийсодержащие рудные формации	20
ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И МИНЕРАГЕНИИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА	32
1.1. Геологическое строение фундамента	34
1.2. Геологическое строение осадочного чехла	39
2.3. Минерагения осадочного чехла.....	51
ГЛАВА 3. РЕНИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	60
3.1. Изученность региона на рений.....	60
3.2. Геохимические предпосылки рениеносности осадочного чехла	63
3.3. Характеристика ренийсодержащих рудных формаций	68
3.3.1. <i>Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах.....</i>	<i>68</i>
3.3.2. <i>Горючих сланцев.....</i>	<i>80</i>
3.3.3. <i>Каменноугольная.....</i>	<i>94</i>
3.3.4. <i>Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом.....</i>	<i>99</i>
3.3.5. <i>Медистых песчаников и сланцев</i>	<i>106</i>
3.3.6. <i>Урановая терригенная палеодолин</i>	<i>119</i>
3.3.7. <i>Урановая в угленосных отложениях.....</i>	<i>124</i>
3.3.8. <i>Молибденовая в пестроцветных отложениях</i>	<i>147</i>
3.3.9. <i>Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная.....</i>	<i>155</i>
ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	167
4.1. Ренийсодержащие формации основных историко-геологических этапов формирования осадочного чехла	167
4.2. Региональные закономерности размещения ренийсодержащих рудных формаций и их ассоциаций в осадочном чехле	170
ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НА РЕНИЙ ОБЛАСТИ И РАЙОНЫ.....	185
5.1. Металлогеническое районирование на рений.....	185
5.2. Ижорская потенциально рениеносная минерагеническая область	192
5.3. Среднерусская потенциально рениеносная минерагеническая область	196
5.4. Волго-Уральская потенциально рениеносная минерагеническая область	202
5.5. Донецко-Маньчская потенциально рениеносная минерагеническая область ...	215
5.6. Районы, расположенные вне потенциально рениеносных минерагенических областей	221
ГЛАВА 6. ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАКОПЛЕНИЯ РЕНИЯ В ПОРОДАХ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ.....	228

6.1. ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ РЕНИЯ В СОСТАВЕ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ.....	228
6.2. ИСТОЧНИКИ РЕНИЯ	244
6.3. БАЗОВЫЕ МОДЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ РЕНИЯ.....	248
6.3.1. <i>Сингенетическая модель</i>	249
6.3.2. <i>Эпигенетическая модель</i>	253
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	262
ЛИТЕРАТУРА	271

Введение

Актуальность исследования. Типичный рассеянный химический элемент рений (Re) находит все более широкое применение в производстве современного оборудования. Сочетание химических и физических свойств рения определяет значительный интерес к его использованию в областях техники, где требуется материалы, обладающие износостойкостью, жаропрочностью и кислотоустойчивостью. Основным направлением его использования является производство высококачественных сплавов, состоящих из тугоплавких металлов (W, Ta, Mo) с добавкой (1,5–2,5 %) рения. Он используется как катализатор при глубокой переработке нефти.

В Российской Федерации Re внесен в перечень основных видов стратегического минерального сырья наряду с нефтью, природным газом, U, Cr, Au, Pt, алмазами [Перечень ..., 2002], а также в перечень приоритетных видов стратегического минерального сырья (2022 г.). В связи с чем развитие сырьевой базы рения является одним из актуальных и приоритетных направлений исследований.

Рений не образует самостоятельных месторождений, а входит в состав комплексных ренийсодержащих рудных объектов различных типов. Основными источниками этого остродефицитного металла в настоящее время являются молибденовые и медно-молибденовые порфиоровые месторождения, медистые песчаники, а также эпигенетические гидротермальные месторождения урана зон пластового окисления [Иванов, Поплавко, Малевский, 1998; Кисляков, Щеточкин, 2000; Metallургия рения, 2007; Трач, Бескин, 2011; Грабежев, 2013].

По геохимическим данным рений установлен в составе углеродистых сланцев, углей и угленосных отложений, тяжелых нефтей и битумов и вулканических фумарол (вулкан Кудрявый, Южные Курилы) [Жаров и др., 1996; Иванов, 1997; Данченко, Рыбин, 2002; Знаменский и др., 2005; Трошкина и др., 2011; Вялов, Ларичев, Балахонова, 2013; Енгальцев, 2019г].

Растущий спрос на Re, а также ограниченность доступных для освоения месторождений активизировали исследования по поискам как традиционных, так и альтернативных сырьевых источников этого металла в мире и в России [Торикова, Кудинов, Ключарев, 2005; Metallургия рения, 2007; Халезов, 2009; Мелентьев, Трошкина, Зубков, 2011; Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Карась и др., 2016, 2017; Mineral..., 2024].

Общая низкая изученность территории России на рений и отсутствие современной прогнозно-металлогенической оценки страны на этот стратегический и востребованный металл делает актуальной задачу по проведению системных исследований, ориентированных на оценку рениеносности отдельных регионов страны.

Таким регионом является область развития осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (ВЕП), которая характеризуется хорошей геологической изученностью [Геологическое строение..., 1985; Ронов, Мигдисов, 1996; Геологическое строение СССР, 2000; Карта рудоносных..., 2000; Геология..., 2006; Минерагенический ..., 2008; и другие].

Исследования, ориентированные на оценку металлоносности осадочного чехла, проводились в 60-80 годы XX века и были сосредоточены, как правило, на локальных площадях или месторождениях, но рений в ходе работ определялся крайне редко. Качество аналитического оборудования того времени, не позволяло определить содержание Re в составе пород и руд с высокой чувствительностью и, соответственно, дать объективную оценку ренийности региона. Полученные ранее аналитические данные по Re малочисленны и рассеяны в редких производственных отчетах и публикациях [Поплавко и др., 1974, 1977, 1978].

В последние годы в связи с ростом аналитических возможностей были получены новые данные о ренийности ряда осадочных пород и руд осадочного чехла Восточно-Европейской платформы: дикионемовых сланцев нижнего ордовика развитых на северо-западе Русской плиты [Вялов и др., 2013; Енгальчев, 2013а,в; Балахонова, 2014]; Бельского и Брикетно-Желтухинского Re-Mo-U месторождений и ряда проявлений в центральной части Русской плиты [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Енгальчев, Пуговкин, Лебедева, 2015 а, б; Карась и др., 2016, 2017], а также органогенно-фосфатных уран-редкометалльных месторождений в майкопских отложениях вала Карпинского [Столяров, Ивлева, 2008; Тюленева и др., 2014; Енгальчев, 2019г]; Для ряда ренийных объектов предложена и апробирована технология отработки [Тюленева и др., 2013, 2014; Вялов и др., 2014ф; Карась и др., 2016, 2017].

Основными трудностями при оценке ренийности рассматриваемой территории являются: низкое качество ранее полученных аналитических данных и необходимость их заверки, а также отсутствием геолого-генетических моделей формирования ренийсодержащих пород и руд, поисковых критериев и признаков, рудоформирующих факторов.

До последнего времени, систематических исследований по оценке региона на рений не проводилось. Не был проведен комплексный анализ новых данных, полученных при проведении геолого-съёмочных и поисковых работ в регионе за последние два десятилетия.

Необходимость развития сырьевой базы рения РФ при низкой региональной изученности территории делает *актуальным* проведение системных региональных исследований осадочного чехла Восточно-Европейской платформы на поиски ренийсодержащих рудных формаций.

Цель исследования заключается в оценке региональной ренийности осадочного чехла Восточно-Европейской платформы путем системного изучения разновозрастных

ренийсодержащих рудных формаций, определении их вещественного состава и выявлении пространственно-временных закономерностей их размещения в осадочном чехле.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1) проведен сбор, обобщение и системный анализ опубликованных, фондовых и авторских материалов;

2) выделены и охарактеризованы ренийсодержащие рудные формации осадочного чехла ВЕП, разработаны геолого-генетические модели формирования;

3) выявлены пространственно-временные закономерности в размещении ренийсодержащих формаций в осадочном чехле региона, установлены их поисковые признаки и прогнозные критерии;

4) выделены потенциально ренийносные области и районы, и дана их характеристика;

5) показана значимость ренийсодержащего потенциала региона в контексте расширения минерально-сырьевой базы рения РФ;

6) намечены первоочередные объекты для поисков и добычи рения.

Объектом исследования являются осадочные породы чехла, пункты минерализации, проявления и месторождения, ренийсодержащих рудных формаций Восточно-Европейской платформы и сопредельной территории вала Карпинского.

Фактический материал. Работа базируется на авторском фактическом материале который был собран (2005 – 2020 гг) в ходе полевых исследований и документации и опробования керна буровых скважин и коренных выходов в Ленинградской, Новгородской, Псковской, Ярославской, Костромской, Ульяновской областях, Татарстане, в также в ходе исследования керна скважин по территории Калининградской области, Рязанской области (Ре-Мо-У Брикетно-Желтухинское месторождение) и Калмыкии (органогенно-фосфатные уран-редкометалльные месторождения в породах майкопской серии; Балковское месторождение урана в миоценовых палеодолинах), а также данных, полученных автором в рамках работ ФГБУ «Институт Карпинского» при составлении прогнозно-металлогенических карт ГГК-1000/3 листов О-35-36 (Санкт-Петербург – Псков), N-38 (Москва), N-38 (Пенза), N-39 (Казань) и ГГК-200 - О-36-XXVI (Холм).

Часть кернового материала для исследований была любезно предоставлена коллегами из Коми научного центра (Сыктывкар), ФГБУ «Институт Карпинского» (г. Санкт-Петербург), ФГБУ «ИМГРЭ» (г. Москва), ГП «Кольцовгеология» (г. Ессентуки).

На камеральном этапе проводилось исследование вещественного состава ренийсодержащих руд и вмещающих отложений (более 2000 образцов) с использованием современных методов.

В анализ были вовлечены первичные опубликованные и фондовые материалы, связанные с рениеносностью осадочного чехла ВЕП, данные по геологическому строению региона, истории геологического развития, рудоносности и нефтегазоносности осадочного чехла ВЕП. В частности, использованы геологические и структурные карты различных масштабов, карты фундамента, палеогеографические, гидрогеологические и палеогидрогеологические данные, материалы по эпигенетическим изменениям пород. В том числе использованы результаты геологоразведочных работ, последних лет, ориентированных на поиски и оценку рениевого (и комплексного с рением) оруденения в осадочном чехле региона: по диктионемовым сланцам, развитым на северо-западе Русской плиты (ФГБУ «Институт Карпинского»); по Re-Mo-U Бельскому и Брикетно-Желтухинскому месторождениям в центральной части Русской плиты (ФГБУ «ИМГРЭ»); по органогенно-фосфатным уран-редкометалльным и водородным урановым объектам вала Карпинского (ГП «Кольцовгеология» (ныне в составе холдинга «Росгеология») и ФГБУ «ВИМС»).

В работе использованы материалы по территории вала Карпинского, находящегося на границе ВЕП и Скифской плиты. Эта геологическая структура, как и Складчатый Донбасс, и Днепровский грабен входят в состав единой крупной тектонической структуры – Припятско-Доно-Мангышлакская палеорифтовая система [Панов, 1988, 1994; Геология ..., 2006] осложняющей южную периферию ВЕП.

Методы исследования. Для получения сведений о вещественном составе ренийсодержащих пород и руд был использован комплекс методов, включающий:

- документацию и опробование керн скважин – более 300 скважин;
- документацию и опробование коренных выходов – более 200 обнажений;
- петрографические исследования шлифов - 400 шлифов;
- гранулометрический анализ - 50 проб;
- выделение глинистой, алевро-песчаной и сульфидной фракций - 20 проб;
- рентгенофазовый анализ глин и глинистой фракции песчаников - 80 проб;
- сканирующая электронная микроскопия и микрозондовый анализ, выполненные в Центральной аналитической лаборатории ФГБУ «Институт Карпинского» на микрорентгеноспектральном анализаторе CamScan2300 (аналитики Грузова Е.Л., Сапега С.Ф.) - более 1500 элементо/определений;
- определение Re, U, Mo методом ИСП МС (более 5000 проб). Для определения Re использована аттестованная методика, разработанная в Центральной аналитической лаборатории ФГБУ «Институт Карпинского» (№ 10/2010). Она предусматривает переводение проб в раствор посредством их растворения в смеси концентрированных азотной, плавиковой и

хлорной кислот с последующим анализом растворов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в диапазоне концентраций 0,01 – 1000 мг/кг;

- метод ИСП МС для определения V, Se, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Sr, Ba, As, Y, REE, Sc, Cd, Ga, Ge, Tl, Sb, Th, Ag (сертифицированная Центральная аналитическая лаборатория ФГБУ «Институт Карпинского», прибор Agilent 7700х, аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов) - 2000 проб;

- рентгеноспектральный силикатный анализ - 200 проб;

- определение $C_{орг}$ по разнице $C_{общ}$ и $C_{карб}$. Определение карбонатного углерода ($C_{карб}$) методом кулонометрии; общего углерода ($C_{общ}$) – методом инфракрасной спектрометрии (Центральная аналитическая лаборатория ФГБУ «Институт Карпинского», аналитик Тарасова В.Н.) - 800 проб;

- выделение фракций (глинистой, песчаной, сульфидной) и их пофракционный анализ на Re, ряд элементов (V, Mo, U, Th, Se, Ni, Zn, Pb, Sc, Y, Ge) и петрогенных оксидов (Fe_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2 , $C_{орг}$) для типовых проб - 20 проб.

- лабораторные эксперименты по изучению подвижных форм рения в ренийсодержащих рудах и породах (17 проб).

- статистическая обработка аналитических данных осуществлялась при помощи программ Excel (Microsoft), Statistica 7.0 (Statsoft).

Научная новизна.

- Обобщены сведения по ренийсодержащим рудным формациям в осадочном чехле ВЕП и дана их характеристика (строение, структурно-вещественные особенности, локализация, условия формирования) часть из которых выделена впервые;

- Создана База данных по авторским пробам (2000), в которых, с использованием современного аналитического оборудования был определен не только Re, но и его элементы-спутники (Mo, Cu, U, $C_{орг}$, Se, Sc, V), а также Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Sr, Ba, As, REE, Y, Cd, Ga, Ge, Tl, Sb, Ag, Th, Bi, Hg и петрогенных оксидов Fe_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2 .

- На основании системного анализа опубликованных, фондовых и авторских материалов по вещественному составу, особенностям локализации и условиям формирования ренийсодержащих рудных формаций в осадочном чехле ВЕП определены основные пространственно-временные закономерности их размещения.

- Впервые для ряда объектов различных ренийсодержащих рудных формаций установлены формы нахождения рения.

- Впервые оценена рениеносность осадочного чехла ВЕП и выделены потенциально рениеносные области и районы, дана их характеристика.

Практическая значимость работы.

- Выявлены основные закономерности размещения ренийсодержащих рудных формаций ВЕП, установлены их поисковые признаки и прогнозные критерии.

- В осадочном чехле ВЕП выделены четыре перспективные потенциально ренийносные области и пятнадцать районов.

- Предложена очередность освоения известных ренийсодержащих объектов и сформулированы практические рекомендации по дальнейшему развитию поисковых и поисково-оценочных работ на рений.

- Данные о форме нахождения рения (подвижные и связанные формы) в составе ренийсодержащих руд могут быть использованы для разработки эффективной технологии извлечения этого элемента.

- Представленные в работе материалы использованы при составлении государственных геологических карт масштаба 1:1000 000 (третье поколение) и 1:200 000 (второго поколения).

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения. Содержит 292 страниц текста, 67 рисунков и 46 таблиц. Список использованных источников включает 250 наименований.

Положения, выносимые на защиту

1. В чехле Восточно-Европейской платформы выделены ренийсодержащие рудные формации, от ордовика до миоцена: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, горючих сланцев, молибденовая в пестроцветных отложениях, каменноугольная, урановая в угленосных отложениях, битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная, медистых песчаников и сланцев, урановая терригенная палеодолин, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом. Наибольшее промышленное значение имеют урановая в угленосных отложениях, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, каменноугольная.

2. В периферийных, отдалённых от центра, частях чехла Восточно-Европейской платформы распространены формации: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах (нижний ордовик), каменноугольная (карбон), битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (верхний карбон), урановая терригенная палеодолин (пермь, миоцен), медистых песчаников и сланцев (пермь), горючих сланцев (верхняя юра) и фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом (олигоцен-миоцен). В центральной части платформы располагаются формации: молибденовая в пестроцветных отложениях (верхний девон) и урановая в угленосных отложениях (нижний карбон). Региональный контроль в размещении формаций определяется: положением осадочных палеобассейнов, содержащих горизонты, обогащенные органическим веществом; наличием погребенных рифтогенных

структур в фундаменте и проявлением эпигенетических процессов окислительно-восстановительного типа.

3. В осадочном чехле Восточно-Европейской платформы выделено четыре перспективные потенциально-рениеносные области – Ижорская, Среднерусская, Волго-Уральская, Донецко-Маньчская. Для Ижорской области, приуроченной к Балтийско-Ладожской моноклинали, типичны проявления ванадий-молибден-урановой формации (диктионемовые сланцы нижнего ордовика Прибалтийского бассейна). Для Среднерусской области, расположенной в Московской синеклизе, характерны месторождения и проявления формации урановая в угленосных отложениях (Брикетно-Желтухинское и Бельское месторождения в нижнем карбоне Подмосковского бассейна). Волго-Уральская область приурочена к одноименной антеклизе и ее типичными формациями являются: формация горючих сланцев (горючие сланцы, верхняя юра) и битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (Репьевское уран-битумное месторождение, Жигулевский вал). Донецко-Маньчская область, приурочена к Припятско-Дона-Мангышлакской палеорифтовой системе. Для нее типичны формации: фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом (группа месторождений и проявлений в майкопских отложениях вала Карпинского), каменноугольная (угли среднего-верхнего карбона восточного Донбасса). Наиболее перспективными на промышленное освоение являются Среднерусская и Донецко-Маньчская области.

4. Промышленные концентрации рения в породах осадочного чехла платформы определяются интенсивностью проявления и совмещением процессов массообмена в син-диагенезе, когда рений из придонных вод накапливался в осадках, обогащенных органическим веществом, и эпигенеза, когда в проницаемых зонах он мигрировал в окислительных подземных водах и осаждался вместе с молибденом и ураном на восстановительном и сорбционном барьерах.

Достоверность работы определяется представительностью фактического материала, применением широкого спектра современных методов изучения вещества. Это позволило достоверно выявить содержания рения и ряда химических элементов в пробах, и определить формы их нахождения. Метрологические характеристики химико-аналитических определений соответствуют нормативным требованиям.

Апробация работы. Основные результаты исследования приведены в 35 публикациях, в том числе 4 монографиях, статьях в изданиях, рекомендуемых ВАК – 15, в других изданиях – 3, тезисах докладов 8. Государственных геологических картах – 5 шт. Материалы, изложенные в диссертации, представлены на конференциях: II Всероссийской конференции по прикладной геохимии "Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений", Воронеж, 2009; «Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и

жизнь». - Москва, 2010; III научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов "Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых", Москва, 2011; «Минеральные индикаторы литогенеза», 2011, Сыктывкар; «Осадочные комплексы Урала и прилежащих регионов и их минерогения: Материалы XI Уральского литологического совещания, Екатеринбург, 2016»; «Минералообразующие системы месторождений высокотехнологичных металлов: достижения и перспективы исследований» (Москва, 2023).

Полученные данные использованы при составлении Государственных геологических карт масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000 (О-35-36 (Санкт-Петербург – Псков), N-38 (Москва), N-38 (Пенза), N-39 (Казань) и ГКК-200 - О-36-XXVI (Холм). Результаты минералогическо-петрографических исследований ренийсодержащих объектов использованы в производственных работах при геологоразведочных работах (ФГБУ «ИМГРЭ» и ГП «Кольцовгеология»).

Личный вклад автора. Автором самостоятельно сформулирована тема исследования, показана ее актуальность и значимость, а также разработаны задачи и методические подходы их решения. Автором проанализирован весь имеющийся в настоящее время литературный и фондовый материал по распределению рения в осадочном чехле ВЕП.

В ходе полевых исследований, документации и опробования коренных выходов в различных частях ВЕП собран значительный объем геологических материалов по потенциально перспективным Re-содержащим объектам.

Автор принимал участие в сборе материалов и анализе данных по наиболее значимым работам на рений на территории ВЕП проводимых ИМГРЭ (Бельское и Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U месторождения), ФГБУ «Институт Карпинского» (диктионемовые сланцы нижнего ордовика) и ГП «Кольцовгеология» (при участии ФГБУ «ВИМС») (органогенно-фосфатных уран-редкометалльных месторождений в майкопских отложениях вала Карпинского). Автором выполнена документация керна скважин и обнажений, проведен отбор проб.

Автор принимал непосредственное участие в лабораторных исследованиях (выделение глинистой фракции пород, петрографический анализ, электронно-микроскопические исследования и др.) и в интерпретации полученных данных.

Выделены ренийсодержащие рудные формации, перспективные на рений области и районы, а также впервые показан многоуровневый характер размещения рениевых объектов в осадочном чехле.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному консультанту д.г.-м. н., профессору Е. Г. Пановой за содержательное обсуждение результатов, конструктивную критику и поддержку, а также к.г.-м. н. А. А. Пуговкину за конструктивное обсуждение работы

и ценные рекомендации, сотрудникам ФГБУ «Институт Карпинского» П. М. Бутакову, Т. А. Ивановой, О. И. Застрожной, а также д.г.-м. н. Э. М. Пинскому, канд. хим. наук Г. А. Олейниковой, д.г.-м. н. Г. А. Беленицкой, И. В. Вербицкому, д.г.-м. н. В. И. Вялову, С. Г. Вяловой, А. В. Герасичевой, к.г.-м.н. Г. С. Искюль, к.г.-м.н. А. М. Карпунину, М. С. Костину, А. Н. Кузьмину, д.г.-м. н. Ю. Б. Миронову, В. А. Михайлову, М. К. Романовой, к.г.-м.н. Л.С. Синькову, к.г.-м.н. А. А. Суярковой, к.г.-м.н. Ф. А. Триколиди, к.г.-м.н. С. С. Шевченко, Б. А. Яшину; коллегам из ФГБУ «ИМГРЭ» д.г.-м. н., профессору А. А. Кременецкому, к.г.-м.н. Г. Н. Трач, С. А. Карась, С. Ю. Орлову, коллегам из ОАО «Северо-Кавказское ПГО» (ранее ГП «Кольцовгеология») (В. П. Сютину, В. Н. Рогачеву), ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» (к.г.-м.н. Ф. А. Закировой, д.г.-м. н. В. Г. Чайкину), д.г.-м. н. А. Г. Самойлову (Саратовский филиал ФБУ «ТФГИ по Приволжскому федеральному округу») и Г. В. Игнатьеву (Коми научный центр, г. Сыктывкар), д.г.-м. н. Р. Р. Хасанову (Казанский государственный университет), д.г.-м. н. С. Б. Шишлову (СПбГУ), д.г.-м. н. А. И. Брусницину (СПбГУ).

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕНИИ

1.1. Краткие сведения о геохимии рения

Рений – редкий рассеянный элемент 7-й группы периодической системы, атомный номер 75, атомная масса 186,21, плотность 21,02 г/см³, температура плавления – 3180 °С. Рений в своих соединениях склонен проявлять высшую степень окисления +7. Природный рений состоит из двух изотопов – ¹⁸⁵Re (37,40 %) (устойчивый) и ¹⁸⁷Re (62,60 %) (радиоактивный). Период полураспада составляет 43,5 млрд лет. Испускающая бета-лучи, ¹⁸⁷Re превращается в осмий.

Рений был обнаружен в 1925 г. в колумбите и гадолините немецкими химиками Вальтером и Идой Ноддак, и Отто Бергом и назван в честь Рейнской провинции Германии. Первый грамм сравнительно чистого металлического Re был получен ими в 1928 г., в результате переработки более 600 кг молибденита.

Как и платиноиды, Re устойчив к действию большинства химических реагентов, а по физическим свойствам близок к тугоплавким металлам VI группы W и Mo. Рений и молибден имеют близкие размеры атомного и ионных радиусов (размеры их ионных радиусов отличаются всего на 0,04 Å), что объясняет подобие их химических свойств и сходное поведение в природных процессах. Рений часто замещает молибден в кристаллической решетке минералов.

В свободном состоянии Re представляет собой серебристый металл, похожий на платину, устойчивый на воздухе при комнатной температуре. При температуре 300 °С можно наблюдать заметное окисление, усиливающееся при температуре выше 600 °С. Порошкообразный рений во влажном воздухе, окисляется до рениевой кислоты: $4\text{Re} + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HReO}_4$.

Рений является одним из самых тугоплавких металлов (температура плавления 3170 °С), однако в отличие от вольфрама он более пластичен. Важное свойство рения – его высокая жаропрочность, так при температуре до 2000 °С он лучше сохраняет прочность, чем Mo, W и Nb. В то же время Re, как и платина, обладает высокой коррозионной стойкостью и относительной химической инертностью: в обычных условиях он почти не растворяется в соляной, плавиковой и серной кислотах.

При нагревании металлический рений взаимодействует со фтором, хлором, бромом, серой, селеном: $\text{Re} + 3\text{F}_2 = \text{ReF}_6$; $2\text{Re} + 5\text{Cl}_2 = 2\text{ReCl}_5$; $\text{Re} + 2\text{S} = \text{ReS}_2$. При повышенной температуре рений не реагирует с CO₂, CH₄ и углеродом. Порошкообразный рений может загораться на воздухе. При нагревании Re реагирует с кислородом, галогенами, серой.

Взаимодействие рения с кислотами слабое. Соляная и разбавленная серная кислоты при обычных условиях реагируют с рением очень медленно. Металлический рений в порошкообразном состоянии в присутствии окислителей взаимодействует со щелочами.

Рениевая кислота (HReO_4) растворяет некоторые металлы: магний, железо, цинк. Труднорастворимые перренаты (соли рениевой кислоты) осаждаются при действии солей калия, рубидия, цезия, таллия и серебра. Практическое значение имеет перренат калия, используемый в технологии получения рения.

Кларк рения в земной коре, по А. П. Виноградову [Виноградов, 1962], составляет $1 \cdot 10^{-7}$ %. Эта величина в 5 раз меньше кларка Au, в 100 раз меньше Ag, в 1000 раз меньше W, в 900 000 раз меньше Mn, и в 51 000 000 раз меньше Fe. Среднее содержание рения в морской воде составляет 0,006 мкг/л. Кларк Re в углеродистых сланцах составляет 0,3–0,8 г/т [Юдович, Кетрис, 1994]. Среднее минимальное промышленное содержание рения – 0,008–0,045 г/т [Иванов, Поплавко, Малевский, 1998].

Рений весьма подвижный химический элемент и легко мигрирует в водных растворах в кислородных условиях земной поверхности. Все соли рениевой кислоты, кроме перренатов калия, цезия, рубидия, таллия и серебра, и его высший оксид Re_2O_7 обладают хорошей растворимостью, что определяет его высокую миграционную способность. Это приводит к обогащению рением рудничных и некоторых грунтовых вод и его отсутствию в окисленных рудах цветных металлов. Он присутствует в воде артезианских скважин и естественных водоемов, расположенных близ ренийсодержащих рудных месторождений.

Повышенные содержания Re характерны для рудничных вод молибденовых месторождений. В водах Джезказганского месторождения медистых песчаников (Казахстан) отмечаются высокие содержания Re до 700–100 мкг/л [Калинин, Файн, 1977]. Установлено, что отношение Re/Cu в водах на 4–5 порядков, а величина Re/Mo в 3–10 раз выше, чем в рудах, из которых эти элементы выщелачивались. При этом абсолютные содержания рения в водах значительно превышают количество в них Cu и Mo. При окислении месторождений Re поступает в подземные воды и может мигрировать на значительные расстояния. Обогащение подземных вод Re может рассматриваться как поисковый признак [Иванов, Поплавко, Малевский, 1998].

Рений обладает органофильными свойствами и концентрируется в растениях. По Р. Бруксу (1983), среднее содержание рения в сухой массе растений составляет 0,001 г/т. В золе травянистых растений (в частности *Astrogalus*) произрастающих на территории распространения урановых ренийсодержащих руд плато Колорадо (США), содержание Re составляет до 300 г/т [Иванов, 1997]. Рений интенсивно накапливается в растениях, произрастающих на месторождениях меди (в частности, на Джезказганском месторождении,

Казахстан), и отвалах руд и хвостохранилищах обогатительных фабрик [Калинин, Файн, 1977]. Re концентрируется в различных частях растений, но наибольшие его содержания фиксируются в листьях деревьев и зеленых наземных частях трав. Наиболее высокую способность к накоплению Re обладают растения семейства лебедовых. По сути растения представляют собой мощный «насос», извлекающий Re из почвы, и накапливающий его в своих тканях. Содержание Re в золе растений, произрастающих на территории Джекказганского месторождения, составляет 1 г/т, а при их размещении на хвостохранилище могут достигать 10–170 г/т.

Повышенные содержания Re характерны для углеродистых сланцев. Так, в мансфельдских медистых сланцах (мульда Зангерзхаузен, Германия) они составляют до 1500 г/т, при средних содержаниях десятки грамм на тонну [Knitzschke, 1961], а в раннеэоценовых сузакских сланцах (Киргизия) среднее содержание – 1,2–9,5 г/т (по отдельным пробам до 21,4 г/т) [Баситова, Засорина, Азизкулова, 1972]. Содержание Re в сырой нефти может достигать 0,2 г/т [Поплавко и др., 1974].

В 1992 г. повышенные концентрации Re были установлены в fumarолах вулкана Кудрявый на о. Итуруп (Южно-Курильские острова). Это уникальный объект, не имеющий мировых аналогов. Рений приурочен к высокотемпературному fumarольному полю действующего вулкана, а его источником являются глубинные флюиды [Знаменский и др., 2005].

Рений крайне редко образует самостоятельные минеральные формы. Он как изоморфная примесь присутствует в составе более 50 минералов-носителей: молибдените, борните, халькопирите, иордизите, пирите и других. Основными его минералами-носителями являются сульфиды. Промышленные содержания рения связаны с молибденитом.

Достоверно известны несколько минералов Re: джекказганит, моносульфид рения (ReS_2) и оксид рения (Re_2O_7). Известен самородный рений, установленный в виде микровключений (10–25 мкм) в вольфрамите.

В медных и медно-свинцово-цинковых рудах Джекказганского месторождения (Казахстан) был установлен крайне редкий сульфид сложного состава – джекказганит (его состав колеблется от $\text{Cu}(\text{Re}, \text{Mo})\text{S}_4$ до $\text{Pb}_4(\text{Re}_3\text{Mo}_3)\text{S}_{16}$, а содержание рения составляет от 25,5 до 70 %, Ag – до 4,7 %). Он представлен в виде тонких прожилков длиной не больше 0,1 мм, реже – в виде единичных зерен. В U-Mo рудах Сан-Веллей (США) был установлен оксид рения (Re_2O_7), который считается вторичным минералом, образованным при окислении иордизита, содержащего рений. В продуктах вулканических эксгаляций, в отложениях fumarольных каналов в жерле вулкана Кудрявый на о. Итуруп был установлен новый рениевый минерал – рениит (ReS_2) [Знаменский и др., 2005]. Он ассоциирует с минералами As и Bi в зоне

проявления высокотемпературных парогазовых фумарол, что свидетельствует о транспортировке рения высокотемпературными флюидами, по аналогии с элементами группы платины.

Содержание Re в молибдените колеблется от следов до 1,8 % и зависит от типа рудной провинции, типа месторождения и состава руд. Высокие содержания Re в молибдените характерны для молибден-халькопиритовых порфиритовых месторождений и составляют в среднем 660 ± 68 г/т [Иванов, 1997; Трач, Бескин, 2011]. Повышенные содержания Re установлены в минералах медно-молибден порфириновых руд: повелите (до 170 г/т), фемолите, псиломелане (до 2 г/т) и гётите (до 3,5 г/т); а также в минералах Cu-стратиформных руд – в борните, халькозине (до 2 г/т), и в Pb-Zn рудах – в вульфените (от 0,3 до 11 г/т, в среднем 1,4).

1.2. Природные источники рения и сферы его использования

За рубежом основными сырьевыми источниками рения являются (по степени значимости): медно-молибден-порфириновые месторождения (до 80 % мировой добычи Re), стратиформные медные месторождения (медистые песчаники), а также в меньшей степени углеродистые битуминозные сланцы и эпигенетические урановые месторождения, связанные с зонами пластового окисления.

Основным источником промышленного получения рения являются молибденовые и медные концентраты, продукты их переработки, а также отходы от переработки медистых сланцев. Молибденовый концентрат содержит Re от 2–20 до 200–300 г/т. Первой стадией его обработки является окислительный обжиг при 550–650 °С, в результате которого окислы рения возгоняются на 50–95 % в зависимости от условий обжига. Рений улавливают, используя мокрые электрофилтры или барботажные установки. Кроме того, для извлечения рения из концентратов используют гидрометаллургическую обработку и хлорирование.

Любое перерабатываемое на рений сырье – комплексное и при этом Re, как правило, не является основным, профильным элементом. Поэтому его извлечение определяется спецификой технологии производства основного металла, а при этом неизбежна потеря рения.

Схемы переработки сырья связаны с переводом соединений рения в растворы и с последующим извлечением рения из них. Для перевода в раствор используется водное и щелочное выщелачивание (с добавкой окислителей), спекание известью с последующим водным выщелачиванием, повторный окислительный обжиг пыли с возгонкой, и с последующим водным выщелачиванием, кислотное, солевое или электрохимическое выщелачивание.

Основными поставщиками первичного рения на мировой рынок Чили, Казахстан, США, Перу, кроме того, рениевый продукт производится в Германии, Польше, Канаде, Мексике, Китае, Узбекистане и Армении. Увеличение мировой добычи рения началось в 1990 г. и было обусловлено ростом спроса на медь и на молибден (~ 4 % в год с 1990 г.). Как следствие, возросла добыча в Чили, США и других странах.

Сейчас мировым лидером в добычи металлического Re является чилийская фирма Molybdenos Y Metales SA (Molyment). Рений выделяют как побочный продукт при обжиге молибденита. Осваивается восемь меднопорфировых месторождений: Чукикамата, Лос-Пеламбрес, Эль-Теньенте, Коллахьюзи, Лос-Бронкс, Андина, Эль-Сальвадор, Колихьюз. Чилийский экспорт Re составляет примерно 58 % от первичных мировых поставок, объем которых – 30 т/год [Mineral..., 2024].

Рост спроса заставит поставщиков производить больше Re. В ближайшее время будут созданы новые линии по переработке молибденовых концентратов и увеличение добычи на ряде крупных меднопорфировых месторождений молибдена в Чили – Вискачитас (Vizcachitas), Сьерра-Горда (Sierra Gorda), Релинчо (Relincho), Санта-Каталина (Santa Catalina); Перу – Торомочо (Togomochó), Рио-Бланко (Rio Blanco), Пашпап (Pashpap); Аргентине – Эль-Пачон (El Pachon); Эквадоре – Джуниин (Junin); Иране – Санган (Sungun); США – Таурис (Taurus). По мнению экспертов, это может привести к поставке на рынок еще 12–15 т рения. Однако, все это не сможет полностью компенсировать растущий дефицит этого металла на рынке, оцениваемый в 10 т/год.

Производство рения в России в настоящее время, вследствие отсутствия сырьевой базы, находится на низком уровне и составляет несколько сот килограммов в год.

Основной характеристикой современного рынка Re является ограниченность его поставок. Первичное производство сильно отстает от потребления. Разные источники оценивают превышение спроса над предложением от 5 до 17,4 т. По однозначным оценкам экспертов, в ближайшие годы спрос на Re будет повышаться. Рост спроса заставит поставщиков производить больше Re. В ближайшее время будут созданы новые линии по переработке молибденовых концентратов и увеличение добычи на ряде крупных меднопорфировых месторождений молибдена в Чили – Вискачитас (Vizcachitas), Сьерра-Горда (Sierra Gorda), Релинчо (Relincho), Санта-Каталина (Santa Catalina); Перу – Торомочо (Togomochó), Рио-Бланко (Rio Blanco), Пашпап (Pashpap); Аргентине – Эль-Пачон (El Pachon); Эквадоре – Джуниин (Junin); Иране – Санган (Sungun); США – Таурис (Taurus). По мнению экспертов, это может привести к поставке на рынок еще 12–15 т рения. Однако, все это не сможет полностью компенсировать растущий дефицит этого металла на рынке, оцениваемый в 10 т/год.

Очевидно, что растущий спрос на Re вряд ли может быть удовлетворен за счет традиционных природных источников сырья. Рост цен, несомненно, активизирует поиски нетрадиционных источников этого редкого металла в мире и в России.

Сферы промышленного использования рения. Благоприятное сочетание химических и физических свойств Re определяет значительный интерес к его использованию в тех областях техники, где требуется износостойкость, жаропрочность и кислотоустойчивость. Из ренийсодержащих сплавов изготавливают лопатки для газотурбинных двигателей, сопла ракет и самолетов. Рений используется также как катализатор при глубокой переработке нефти. Однако высокие цены на Re пока сдерживают его более широкое применение в данной области.

Основное направление использования этого металла – высококачественные сплавы, состоящие из тугоплавких металлов (W, Ta, Mo) с незначительной (1,5–2,5 %) добавкой Re, которые значительно улучшают жаропрочные и прочностные свойства сплавов. Так, например, сплав на основе вольфрама с добавкой 2,5 % Ta и 8 % Re (Ta-W-Re) предназначен для теплозащитных экранов спускаемых из космоса аппаратов. Сплавы Mo с Re используют в качестве конструкционного и облицовочного материала космических реакторов, работающих при температуре до 1150 °С. Такие сплавы могут содержать до 30 масс. % Re.

Ежегодное глобальное *потребление рения* оценивалось примерно в 55–59 т/год. Эта оценка включала первичный и вторичный рений, используемый в виде металла. США – ведущий производитель аэрокосмических «суперсплавов» и поэтому являются крупнейшим потребителем и импортером рения.

Цены на рений в основном диктуются экспортерами и официально не публикуются. Но, цена на чистый Re довольно высока и за последние 20 лет составляет 1000–2000 дол /кг.

Постепенно возрастает доля рения, полученного при переработке вторичного ренийсодержащего сырья и отходов (материал печных наростов, конвейерная пыль медного производства; пыль от обжига молибденовых концентратов).

Легирование молибдена рением улучшает пластичность сплава, повышает температуру его эксплуатации на 100 °С и температуру газа в турбине, достигая увеличения тяги двигателя на 15–20 %. При этом существенно повышается термическая стабильность сплава и сопротивление газовой и горячей коррозии. Высокопрочные суперсплавы выдерживают температуру до 2000 °С и выше без потери прочности. Спрос на Re для использования в ракетной технике постоянно растет. Ренийсодержащие сплавы используются в настоящее время в двигателях авиалайнеров Airbus A500 и 600, Boeing 767 и 777 (двигатели Rolls Royce Trent), а также для двигателей многоцелевых истребителей четвертого (Eurofighter Typhoon) и пятого поколений (Су-57, F-22 Raptor).

Рений является важным «критическим металлом» необходимым для производства высокотемпературных сплавов, в связи с чем производители сплавом стараются обеспечить стабильность поставок рения [McNulty, Jowitt, 2021].

Рениевые сплавы активно используются в производстве ламп и электронных приборов, эксплуатируемых в особых условиях. Так, ренирование (нанесение тончайших рениевых покрытий) позволяет в несколько раз продлить срок службы вольфрамовых нитей в электролампах, электронных трубках, электровакуумных приборах. Рений и его сплавы с вольфрамом могут успешно применяться как материал для электроконтактов, работающих в условиях атмосферной и тропической коррозии. Термопары из сплавов рения с вольфрамом и молибденом применяются для измерения высоких температур (до 2600 °С).

Важным направлением является применение Re в составе катализаторов в химической и нефтяной промышленности (в частности, при крекинге нефти). В 1970-е годы ученые пришли к выводу, что Re и его соединения с кислородом или серой, сплавы с никелем, палладием и платиной обладают высокими каталитическими свойствами. Добавка Re усиливает действие медного, кобальтового, никелевого, молибденового и ванадиевого катализаторов при окислении в газовой фазе. При крекинге нефти Re может заменять платину, которая входит в состав катализатора, что позволяет получать бензин с высоким октановым числом и тем самым увеличить производительность. Также использование Re снижает затраты на катализатор, так как время жизни катализатора увеличивается в 5–6 раз, увеличивается и пропускная способность установок реформинга на 40 %.

Именно благодаря использованию рениевых и рениево-платиновых катализаторов в 1970-е годы впервые удалось получить бензин с октановым числом выше 100, после чего возник «рениевый бум» и цены на Re на мировом рынке резко выросли.

Рений используется в составе материала термоионных и термоэлектронных эмиттеров в масс-спектрометрическом оборудовании, что способствует повышению точности измерений. Высокая твердость и износостойчивость сплавов рения позволяют использовать их как материал опор для весов, осей геодезических приборов (нивелирах, теодолитах), гироскопических приборов, шарнирных опор и т. п.

По мере все более широкого использования рениевых сплавов изменяется структура его потребления. Если в конце 1970-х годов Re преимущественно использовался для производства катализаторов (производство катализаторов 80–85 %; жаропрочные сплавы 5–7 %; аноды рентгеновских трубок 7 %; прочие 4–5 %), то начиная с 2008 г. жаропрочные сплавы, применяемые в ракетной технике – 50–60 %; сплавы, используемые в производстве двигателей – 30–36 %; катализаторы – 6–12 %; приборостроение – 2–6 %.

Отличительной особенностью потребления Re в России является практически полная зависимость от импортного сырья. По сути с 1990-х годов сложилась критическая ситуация, когда сырье из Казахстана, Армении, Узбекистана и других стран бывшего СССР стало экспортироваться в США, Германию, Нидерланды. С 2008 г. в России наблюдался рост импорта ренийевых продуктов. В настоящее время потребление рения в России находится на уровне 2–2,5 т в год.

1.3. Ренийсодержащие рудные формации

Для обоснованной оценки территории на Re и проведения современного регионального металлогенического анализа необходима рудно-формационная типизация ренийсодержащего оруденения.

Согласно Геологическому словарю [Геологический ..., 2010; Геологический ..., 2011; Геологический ..., 2012] под понятием «рудная формация» мы понимаем структурно-вещественные модели концентраций тех или иных рудных компонентов, находящихся в определенных соотношениях с вмещающими синхронными и сингенетичными образованиями. При этом под «рудными компонентами» понимаются как металлические, так и неметаллические полезные ископаемые. Рудная формация по условиям образования и конституционным признакам подразделяют на несколько групп: магматические (включая магмато-метасоматические), метаморфические (и метаморфо-метасоматические), гидротермально-метасоматические, гидрогенно-инфильтрационные, осад. (включая россыпные), коптогенные.

Рений, исходя из своих геохимических особенностей, во всех известных рудных формациях является не основным, а попутным компонентом, в связи с чем эти рудные формации мы называем «ренийсодержащими».

В качестве базового понятия при проведении прогнозно-металлогенических исследований используется понятие о *рудных формациях* как группе известных или прогнозируемых месторождений и проявлений, однотипных (сходных) по вещественному - элементному и минеральному составу руд, геологической обстановке нахождения, которая характеризуется связью с определенной геологической формацией (либо сочетанию геологических формаций) и структурными условиями рудонакопления [Металлогенический..., 2012].

Обобщение данных о ренийсодержащих формациях Мира не проводилось. Как известно, ведущими поставщиками рения в Мире являются месторождения трех ренийсодержащих формаций (по степени значимости): группа (семейство) формаций молибден-меднорудная

порфи́ровая (медно-молибден-порфи́ровая, молибден-медно-порфи́ровая) до 80 % мировой добычи Re; формация медистых песчаников и сланцев; урановая гидрогенно-инфильтрационная в связи с зонами пластового окисления.

В *медно-молибден-порфи́ровых месторождениях* сосредоточена основная часть выявленных мировых запасов Re. Их большинство сосредоточено в пределах тихоокеанского «огненного кольца» на американском континенте: в Канаде, США, Мексике, Чили, Перу, Филиппинах, в Малайзии, Папуа-Новой Гвинее, Турции, Иране, и других странах.

Наиболее богаты рением медно-порфи́ровые месторождения сосредоточены в Чили, США, Перу, Канаде и Мексике. Крупные запасы рения (первоначально > 80 т Re) установлены в пяти эксплуатируемых месторождениях: Чукикамата и Эль-Теньенте в Чили, Бьют в США, Хайленд-Велли и Айленд-Коппер в Канаде. К средним по запасам (50–80 т Re) относятся семь эксплуатируемых месторождений: Эль-Сальвадор и Андина в Чили; Бингем, Сан-Мануэль и Сьеррита в США, Ла-Каридад в Мексике и Сар-Чешме в Иране.

В Российской Федерации Государственным балансом учтены запасы рения в пяти месторождениях медно-молибден-порфи́рового семейства, расположенных на Алтае (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Балансовые запасы рения Российской Федерации по состоянию на 01.01.2023 г.

Месторождения	Субъект РФ	Балансовые запасы			Забалансовые запасы Re, т	Тип месторождения
		Категория	Запасы Re, т	Средние содержания Re в руде, г/т		
Брикетно-Желтухинское	Рязанская область	C ₂	22,8	1,35	0,8	Эпигенетическое
Сорское	Республика Хакасия	A+B+C ₁	7,3	0,02-0,04	2,1	Молибденовый
Агаскырское		C ₂	5,9	0,02		
Мало-Ойногорское	Республика Бурятия	A+B+C ₁	2,5	0,01	0,1	Мо-порфи́ровый
		A+B	0,6	0,01		
Михеевское	Челябинская область	C ₂	40,6	0,05-0,13	7,6	Си-Мо-порфи́ровый
Ак-Сугское	Республика Тыва	C ₂	83,3	0,1 – 0,17	33,4	Си-порфи́ровый
Коклановское	Курганская область	C ₂	7,8	0,03	1,6	Вольфрам-молибденовое
Всего по РФ		A+B+C ₁	9,8		45,6	
		C ₂	160,4			

В настоящее время разрабатывается только Сорское месторождение. Рений в рудах месторождения находится преимущественно в молибдените (81–88 г/т Re в минерале).

В процессе переработки руд на Сорском ГОКе Re попадает в молибденовый концентрат, где его содержание составляет около 140 г/т. Рений не извлекается. На Михеевском и Ак-Сугском месторождениях завершена разведка, месторождения лицензированы, но пока не осваиваются. Агаскырское и Мало-Ойногорское молибден-порфировые месторождения входят в нераспределенный фонд недр.

На Южном Урале рений установлен в составе систем [(Au) - Cu, (Au, Mo) - Cu] ряда медно-порфировых месторождений: Михеевское, Томинское, Гумешевское, Салаватское, Юбилейное, Верхнеуральское и др. [Грабежев, 2013]. Содержание рения в рудных телах составляет 0,2–0,5 г/т (реже до 1,4–2,7 г/т). Рений диагностирован в составе молибденита.

На территории Российской Федерации прогнозируется выявление месторождений данного типа на Урале, в Алтае-Саянской и Колымо-Охотской провинции. Сведения о прогнозных ресурсах Re в составе руд медно-молибден-порфировых месторождений различных районов приведены в Таблица 1.2. Однако, промышленный интерес на рений могут представлять только месторождения молибден-медно-порфирового типа с высоким (более 0,014 %) содержанием молибдена в рудах. Именно такие месторождения являются основой мировой сырьевой базы рения – Чукикамата, Эль-Тениенте (Чили), Бингхем (США) и Айленд Коппер (Канада).

Таблица 1.2 – Оценка прогнозных ресурсов рения по кат. Р₃ в объектах медно-порфирового семейства Российской Федерации (прогнозные ресурсы не утверждены) [Трач, Бескин, 2011]

Металлогеническая провинция	Мегапояс	Рениеносные пояса, провинции, районы	Месторождения, проявления	Рудно-формационный тип	Ресурсы рения по провинциям по кат.Р ₃ , т
Уральская	Уральский	Салаватская зона	Салаватское	Молибден-медно-порфировый	170
		Михеевская зона	Михеевское		
		Полярно-Уральский пояс	Лекын-Тальбей		
Алтае-Саянская	Тувинский	Аксугский пояс	Ак-Сугское	Молибден-медно-порфировый	100
Колымо-Охотская	Охотско-Чукотский	Магаданская провинция	Перекаточный	Медно-молибден-порфировый	480
			Вечернее	Молибден-порфировый	

Извлечение Re из руд медно-молибден-порфировых месторождений реализовано по следующей схеме. Первоначально из руд получают молибденовый концентрат, из которого в результате переработки извлекают молибден и рений. Молибденовые концентраты медно-молибден-порфировых месторождений содержат от 20 до 250–400 г/т Re, при этом в рудах этих месторождений содержание Re обычно не превышает 1 г/т, а содержание Mo в рудах составляет 0,01–0,22 %.

Вторым по значению промышленным источником Re является *стратиформная ренийсодержащая формация медистых песчаников и сланцев*. Эталонным объектом является Джеккаганское месторождение в Казахстане. Оно не имеет себе равных в мире, как по уровню концентрации рения, так и по его запасам (оценивается на уровне 1,5 тыс. т Re). В рудах месторождения обнаружен джеккаганит (сложный сульфид с содержанием 40–77 % Re). Месторождение разрабатывает ПО «Жезказганцветмет» (г. Жезказган), входящее в состав корпорации «Казахмыс». В сульфидном медном концентрате месторождения содержание Re – 18–23 г/т.

Своеобразный тип рудных объектов, с относительно высокими содержаниями рения представлен меденосными углеродистыми битуминозными сланцами, содержащими прослойки сульфидных медных руд. Примерами данного типа являются месторождения Любин и Серошовице в Польше, Мансфельд и Зангерхаузен в Германии.

На территории Польши работают четыре медных рудника – Любин, Серошовице, Полковице, Рудна. Содержание Re в медных рудах Любинского района – 2,2 кг/т, в карбонатном и песчаниковом типе – 1 кг/т, а содержание свободного битума в рудоносных породах составляет 0,17 % [Иванов, 1997; Гурская, 2000]. Руды перерабатываются на металлургическом комбинате Лигнице-Глогув (компания KGHN). Разведенные запасы медных руд превышают 100 млн т, прогнозные – 160 млн т. Кроме меди из руд добывают цинк, свинец, серебро, золото, рений. В сульфидном медном концентрате месторождения Любин содержание Re составляет в среднем 6 г/т.

В медных рудах Мансфельдского (Мансфельд) месторождения (Германия) содержание меди составляет от 0,03 до 4,4 %. Содержание Re от 1 до 30 г/т, среднее 1-3,6. 2-5 в песчаниках, 3,6 в медистых сланцах. Рудоносные породы представляют собой плотные тонкослоистые битуминозные карбонатно-глинистые сланцы. Распределение Re тесно связано с содержанием меди, молибдена и органического вещества. Близкие содержания Re установлены и на месторождении медистых песчаников Зангерхаузен, которое так же, как и месторождение Мансфельд, располагается в одноименной мульде, окаймляющей массив Гарц [Иванов, 1997].

Промышленное значение как источник Re имеют *гидрогенные (пластово-инфильтрационные) эпигенетические месторождения (ренийсодержащая формация*

урановая гидрогенно-инфильтрационная в связи с зонами пластового окисления), связанные с зонами пластового окисления, где Re присутствует в составе руд совместно с U, Mo, Se и Sc. Эти объекты известны под названиями «песчаниковый», «пластово-инфильтрационный», «экзогенно-эпигенетический» типы. На этих объектах урановые минералы (черни, настуран и др.) располагаются в водопроницаемых пластах песка или песчаника (гравийники и т. п.), иногда пористых карбонатных пород, заключенных между водонепроницаемыми пластами глин (песчано-глинистыми, алевролитовыми, карбонатными и т. п.). На таких объектах рудные тела представляют собой пласты, линзы, «роллы».

Теоретические вопросы и условия локализации рения на пластово-инфильтрационных месторождениях урана детально рассмотрены на примере месторождений Притяньшаньской урановой мегапровинции [Шмариович, Натальченко, Бровин, 1987; Максимова, Шмариович, 1993; Кисляков, Щеточкин, 2000].

Наиболее существенным фактором при прогнозировании объектов рассматриваемого типа является наличие источника рудного вещества – специализированных на уран (а также молибден и рений) геологические формации. Выветривание последних может приводить к образованию легкоподвижных соединений, которые в дальнейшем мигрировали с подземными водами и отлагались на геохимических барьерах, формируя рудные залежи.

Способность Re осаждаться из пластовых вод в виде ReS_2 совместно с U в более восстановительных условиях, чем Se, и менее чем Mo, приводит к его зональному распределению в рудных зонах таких объектов. Данные по ренийности инфильтрационных комплексных урановых Re-содержащих руд свидетельствуют, что в них он ассоциирован не столько с Mo, сколько с U. В большинстве месторождений этого типа Re в зональном ряду металлов находится между U и Mo, и часто в разрезе пластов рениевое оруденение имеет большую мощность, чем U. Содержание Re в составе руд – около 0,06–0,2 г/т. В зоне рядовых и богатых руд – от 0,4–5 до 10–18 г/т. Рентабельность освоения таких объектов определяется методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ).

Рений попутно с ураном обрабатывается методом СПВ на эпигенетических инфильтрационных урановых месторождениях Притяньшаньской урановой мегапровинции, в частности, в Узбекистане на месторождениях Северный и Южный Букинай.

Разновидностью эпигенетических инфильтрационных урановых объектов данного типа являются месторождения урана (с Re, Se), приуроченные к речным палеодолинам (палеодолинный тип) [Уран..., 2010]. Они установлены в частности в южном Зауралье [Халезов, 1997а; 2003; Месторождения..., 2009]. Комплексное изучение этих месторождений, приуроченных к позднеюрским базальным речным палеодолинам в юго-западной части Западной Сибири (Курганская область) (месторождения Далматовское, Хохловское,

Добровольное, Тобольское, Сенжарское) показало, что на некоторых из них рений присутствует в составе руд. В комплексных рудах (U, Re, Mo, Se, Sc, Y, REE). Далматовского месторождения рений присутствует в количестве 0,5 г/т, он встречается эпизодически, только в 2 % проб. В подзоне бедных урановых руд, его содержание составляет 0,06–0,21 г/т, а в рядовых и богатых урановых рудах, которые находятся в основном непосредственно у границы выклинивания зоны окисления, среднее содержание Re – от 0,41 до 5,08 г/т. Рений концентрируется в углистом веществе и тонких фракциях пород. По данным общие ресурсы рения (кат. P₁) месторождения урана Добровольное как попутного компонента составляют 16,2 т при среднем содержании 0,741 г/т [Халезов, 2009].

Ресурсы и запасы рения. По оценке геологической службы США, ресурсы Re, оценивается на начало 2024 года в объеме более 7000 т (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Ресурсы и производство рения в мире на начало 2024 года [Mineral..., 2024]

Страна	Производство, т		Ресурсы, т
	2022 г.	2023 г.	
Чили	29	30	1300
США	8,87	9,1	400
Польша	6,31	6,3	н д
Китай	2,5	2,5	19,2
Казахстан	0,5	0,5	190
Узбекистан	4,9	4,9	н д
Армения	0,26	0,28	95
Южная Корея	2,8	2,8	н д
Россия	н д	н д	310
Перу	н д	н д	45
Всего в Мире	55,1	56,0	более 7 000

Примечание: нд – нет данных.

Однако, по оценке [Werner et al., 2023] сделанной для 618 месторождений меди и молибдена, среди которых преобладают порфировые месторождения, ресурсы рения оценены в 83 000 тонн.

В Российской Федерации Государственным балансом запасов рассеянных элементов по состоянию на 01.01.2021 запасы рения учтены в рудах 9 коренных месторождений: Брикетно-Желтухинское (Рязанская область); Сорское молибденовое (Республика Хакасия); Южно-Шамейское (Свердловская область); Агаскырское молибденовые (Республика Хакасия); Ак-Сугское медно-порфиоровое (Республика Хакасия); Песчанка медно-порфиоровое (Чукотский автономный округ); Михеевское медно-порфиоровое (Челябинская область); Коклановское вольфрам-молибденовое (Курганская область); Мало-Ойногорское молибденовое (Республика Бурятия). Запасы по кат. А+В+С₁ – 9 т, С₂ – 301 т. Забалансовые – 141,9 т. Добыча рения

осуществляется в Челябинской области и Республике Хакасия. Кроме того, в Сахалинской области известны динамические запасы рения кат. С₂ в количестве 36,7 т/год по проявлению Вулкан Кудрявый (протокол ЦКЗ МПР России от 08.07.2002, б/н), не учитываемые Государственным балансом запасов.

В Российской Федерации при участии производителей рениевых сплавов и авиапроизводителей (ОАО «Победит», ОАО «Гиредмет», ОАО «Ступинская металлургическая компания», ФГУП «ВИАМ»), была принята государственная программа по поискам рениевого оруденения и созданию сырьевой базы рения России (Приказ от 16 июля 2008 г. № 151 «Об утверждении долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья»).

По результатам комплексной оценки ИМГРЭ, авторские (не утвержденные) прогнозные ресурсы рения России составили по категориям Р₁ – 84,7, Р₂ – 1470,2, Р₃ – 3759 т, в нетрадиционных источниках – 350 т (без привязки к категориям), из них: в меднопорфировых рудах по кат. Р₃ – 750 т; в инфильтрационных рудах по категориям Р₂ – 1349, и Р₃ – 2899 т; а в нетрадиционных источниках (медноколчеданные руды, медно-никелевые в ультрабазитах, углеродистые сланцы, фумарольные газы и породы, уран-благороднометалльно-ванадиевые руды) по категориям Р₂ и Р₃ составляют 344 т (Таблица 1.4, 1.5).

Таблица 1.4 – Авторская оценка прогнозных ресурсов рения по категориям Р₂ и Р₃ в объектах эпигенетического инфильтрационного типа [Трач, Бескин, 2011]

Металлогеническая провинция	Провинции, районы	Площади	Месторождение, проявление	Прогнозные ресурсы Re, т
Восточно-Европейская	Подмосковная провинция	Брикетно-Желтухинская	Брикетно-Желтухинское	Р ₂ – 1335 Р ₃ – 2500
		Узуновско-Алексеевская	Северо-Алексеевское	
		Труфаново-Павелецкая		
		Нелидовская	Бельское	
		Львовская		
		Калужская		
		Малинковская		
Смоленская				
Западно-Сибирская	Зауральская провинция		Далматовское	Р ₂ – 14,7 Р ₃ – 199
			Добровольное	
			Хохловское	
		Юконская		
		Пышминская		
		Миасская		
		Варгашино-Петуховская		
Байкало-Витимская	Витимский район			Р ₃ – 200

Таблица 1.5 – Оценка прогнозных ресурсов рения в нетрадиционных источниках на территории Российской Федерации. Прогнозные ресурсы не утверждены [Трач, Бескин, 2011]

Металлогеническая провинция	Рениеносные пояса, провинции, районы	Район	Месторождения, проявления	Рудно-формационный тип	Суммарные запасы, ресурсы руды, тыс.т	Рений		
						Содержание, г/т (кол-во анализов)	Ресурсы, т	
Уральская	Южно-Уральская		Юбилейное	Медно-колчеданный	116 947	0,05 (6)	9,8	
			Александринское		2 743	0,025 (4)		
			Узельгинское		69 283	0,035 (8)		
			Учалинское		18 945	0,029 (5)		
			Сибайское		23 257	0,021 (12)		
			Молодежное		6 196	0,038 (3)		
			Талганское		3 825	0,05 (2)		
Восточно - Сибирская		Норильский	Норильск-1	Медно-никелевый в ультрабазитах	538 835	0,07 (5)	193,4	
			Талнахское		969 898	0,16 (4)		
Корякско-Камчатская	Центрально-Камчатская		Шануч		1 226	0,3 (1)		
Восточно-Европейская	Прибалтийский бассейн			Углеродистые породы	Диктионемовые сланцы	641 429	0,21	P ₂ -P ₃ – 134,7
Сихоте-Алиньская		Павловский	Спецугли					
Курильская			Вулкан Кудрявый	Фумарольные газы и вулканические породы	Околожерловые породы фумарол	30	P ₃ – 2-5	
					Вулканические газы			0,005
Карело-Кольская		Онежский	Средняя Падма	Уран-благороднометалльно-ванадиевый		0,4-0,5	0,459	

В Российской Федерации Re внесен в перечень основных видов стратегического минерального сырья наряду с нефтью, природным газом, U, Cr, Au, Pt, алмазами [Перечень ..., 2002], а также в перечень приоритетных видов стратегического минерального сырья (2022 г.).

В Российской Федерации на 2023 год утверждены прогнозные ресурсы рения P_1+P_2 в объеме 448 т (Таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Утвержденные прогнозные ресурсы рения по категориям P_1 и P_2 по состоянию на 01.01.2023 г.

№пп	Федеральный округ, область	Объект	Прогнозные ресурсы, т	
			P_1	P_2
1	Северо-западный, Ленинградская область	Кайболово-Гостилицкая площадь	12	63
2	Центральный, Рязанская область	Брикетно-Желтухинское рудное поле	40	300
3	Дальневосточный, Республика Саха (Якутия)	Бадис рудное поле	2	31
		Прогнозные ресурсы, всего, т:	54	394

В последнее время в Российской Федерации в рамках государственной программы воспроизводства минерально-сырьевой базы исследован ряд ренийевых объектов: диктионемовые сланцы нижнего ордовика Прибалтийского бассейна (2012–2014 гг.), Бельское (2010–2012 гг.), и Брикетно-Желтухинское (2013–2015 гг.) месторождение Подмосковского бассейна. В качестве потенциально перспективных, ренийсодержащих объектов исследовались органогенно-фосфатные уран-редкометалльные месторождения в Калмыкии (2011–2013 гг.).

В результате оценочных работ, выполненных ИМГРЭ на Брикетно-Желтухинском месторождении, и апробации технологии СПВ для рения было составлено ТЭО временных кондиций для подсчета запасов рения на Брикетно-Желтухинском Re-Mo-U месторождении [Карась и др., 2016, 2017]. На основе принятых временных кондиций запасы рения по кат. S_2 на месторождении составили 22,8 т (по данным на 01.01.2017 г.), при этом есть перспективы увеличения запасов на флангах и на глубину.

Анализ литературных и фондовых материалов, а также собственных данных показал, что на территории РФ располагаются ренийсодержащие месторождения и проявление следующих ренийсодержащих рудных формаций: Медно-порфировая (месторождение Михеевское, Южный Урал); Молибден-медно-порфировая (медно-молибденовая порфировая) (месторождение Аг-Суг, Хакасия; Песчанка, Чукотка); Молибден порфировая (месторождение Сорское, Хакасия); Уран-благороднометалльно-ванадиевая в слюдисто-

щелочных метасоматитах (месторождение Средняя Падма, Онежская впадина, Балтийский щит); Шунгитовая черносланцевая (Шуньга, Онежская впадина, Балтийский щит); Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах (диктионемовые сланцы ордовика северо-запад ВЕП); Горючих сланцев (верхнеюрские горючие сланцы ВЕП); Каменноугольная (угли Восточного Донбасса); Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом (комплексные месторождения Ергенинского района, вал Карпинского); Медистых песчаников и сланцев (Проявления Приуральской и Вятско-Камской меденосной полосы); Урановая терригенная палеодолин (месторождение Хиагдинское, Витимский район Забайкалье; Далматовское, юг Западной Сибири; Балковское, Гашунская впадина, вал Карпинского); Урановая в угленосных отложениях (Бельское и Брикетно-Желтухинское, Подмосковский бассейн, ВЕП); Молибденовая в глинах терригенная пестроцветная (Печорское, северо-запад ВЕП); Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (Репьевское, южная часть ВЕП).

Анализ материалов по геологическому строению, металлогения и изученности на рений территории Российской Федерации показал, что два типа месторождений (формации порфирирового семейства (медно-молибден-порфирировая, молибден-медно-порфирировая) и медистых песчаников и сланцев), являющиеся основными сырьевыми источниками в Мире, для нашей страны имеют ограниченное значение. Ранее было показано, что руды медно-молибден-порфирировых объектов, установленные на территории РФ, по сравнению с зарубежными аналогами, имеют худшее качество сырья и меньшие запасы [Трач, Бескин, 2011].

Перспективы обнаружения в России аналогов крупного ренийсодержащего Джеккаганского месторождения медистых песчаников (Казахстан) или месторождений типа Мансфельд (Германия) и Любин-Серошовице (Польша) весьма ограничены. В связи с этим надо признать, что месторождения формации медистых песчаников и сланцев в ближайшей перспективе не внесут значительного вклада в расширение минерально-сырьевой базы рения РФ.

Такая ситуация свидетельствует с одной стороны о необходимости продолжении исследований по поискам медно-молибден порфирировых объектов и месторождений медистых песчаников и сланцев, а с другой определяет необходимость поисков новых объектов в том числе новых и нетрадиционных типов (углеродистые сланцы (горючие и битуминозные), уран битумные руды, органогенно-фосфатные уран-редкометалльные руды, угли, тяжелые нефти), содержащих рений в составе пород и руд. Последнее, несомненно, потребует разработки новых технологий переработки сырья.

Оценка территории РФ на обнаружение ренийсодержащих объектов гидрогенного инфильтрационного типа более оптимистична. Районы с гидрогенными инфильтрационными месторождениями урана известны в различных районах РФ (Витимский, Зауральский, Предуральский, Гашунский), однако, в настоящее время далеко не все месторождения урана переоценены на рений и попутные компоненты (молибден, селен). Возможно, малоперспективные проявления и непромышленные месторождения урана гидрогенного инфильтрационного типа могут представлять интерес как комплексные (U-Mo-Re-Se) объекты. Исходя из зональности, свойственной гидрогенным инфильтрационным объектам обогащенные рением зоны могут быть пространственно смещены относительно урановых зон, в связи с чем, целесообразно переоценивать не только собственно урановые зоны, но и фланговые части месторождений и проявлений данного типа.

Нетрадиционные источники рения. Растущий мировой спрос на Re вряд ли может быть удовлетворен за счет традиционных природных источников сырья. В последнее время активизировались поиски нетрадиционных источников рения в Мире и в Российской Федерации.

Ограниченность доступных для освоения месторождений рения и растущий спрос, активизировали исследования по поискам как традиционных, так и альтернативных сырьевых источников этого металла в мире и в России [Торикова, Кудинов, Ключарев, 2005; Metallургия рения, 2007; Халезов, 2009; Мелентьев, Трошкина, Зубков, 2011; Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Карась и др., 2016, 2017; Енгальчев, 2023; Mineral..., 2024].

В последние два десятилетия в Российской Федерации в связи с отсутствием в крупных, промышленно значимых рениевых объектов традиционных типов проявляется значительный интерес к выявлению и оценке новых (в том числе, нетрадиционных) сырьевым источникам рения. В результате выполненных исследований, направленных на получение новых данных об их вещественном составе, условиях залегания, рениеносности, и технологических свойствах, было установлено значительное разнообразие таких сырьевых источников, а также в для ряда нетрадиционных источниках на территории РФ (медноколчеданные руды, медно-никелевые в ультрабазитах, углеродистые сланцы, фумарольные газы и породы, уран-благороднометалльно-ванадиевые руды) оценены их прогнозные ресурсы по категориям P₂ и P₃ которые составили 344 т [Трач, Бескин, 2011].

В качестве нетрадиционных источников рения рассматриваются объекты следующих ренийсодержащих формаций: 1) Уран-благороднометалльно-ванадиевая в слюдищелочных метасоматитах (месторождение Средняя Падма, Онежская впадина, Балтийский щит); 2) Шунгитовая черносланцевая (Шуньга, Онежская впадина, Балтийский щит); 3) Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах (диктионемовые сланцы ордовика

северо-запад ВЕП); 4) Горючих сланцев (верхнеюрские горючие сланцы ВЕП); 5) Каменноугольная (угли Восточного Донбасса); 6) Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом (комплексные месторождения Ергенинского района, вал Карпинского); 7) Медистых песчаников и сланцев (Проявления Приуральской и Вятско-Камской меденосной полосы); 8) Урановая в угленосных отложениях (Бельское и Брикетно-Желтухинское, Подмосковский бассейн, ВЕП); 9) Молибденовая в глинах терригенная пестроцветная (Печорское, северо-запад ВЕП); 10). Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (Репьевское, южная часть ВЕП).

Большинство из перечисленных формаций развито на территории осадочного чехла ВЕП и будет подробно описано в настоящей работе.

Кроме того, в литературе приводятся сведения о наличии рения в нефтях и тяжелых битумах (до 0,2 г/т), что позволяет при наличии технологии его извлечения рассматривать месторождения углеводородов, обогащенные рением (а чаще всего и V, Ni, Co и др.) как новый, нетрадиционный, пока еще слабо изученный источник этого металла [Металлургия рения, 2007; Трошкина и др., 2011].

Еще одним из потенциальных источников рения являются *фумарольное поле на вулкане Кудрявый* (о. Итуруп, Курильские острова) (экспазионный газово-флюидный тип). Повышенные концентрации Re приурочены к высокотемпературным возгонам фумарольного поля вулкана. Металл концентрировался на стенках и на корках каналов. Ежегодно в виде газопылевой смеси вулканом выбрасывается несколько тонн рения [Бочарников и др., 1998]. Запасы Re фумарольного поля вулкана, по разным оценкам – от 4 т до нескольких десятков тонн. В ИМГРЭ разрабатываются промышленные установки по улавливанию дисульфида рения из вулканических выбросов. Однако пока эта работа не получила продолжения в связи с удаленностью объекта, нерешенными технологическими вопросами и непредсказуемой активностью вулкана, что значительно увеличивает риски отработки объекта.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И МИНЕРАГЕНИИ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА

Современные границы докембрийской Восточно-Европейской платформы проводятся вдоль западного склона Урала, северо-западного края Южно-Эмбинского поднятия, по северному краю вала Карпинского, далее по границе с эпигерцинской Скифской плитой, через Перекоп и устье Дуная. Далее граница следует вдоль Предкарпатского прогиба, вдоль Поморско-Куявского вала и по крайним восточным покровам норвежских каледонид. От мыса Нордкап по акватории южной части Баренцева моря к южной части арх. Новая Земля (Рисунок 2.1).

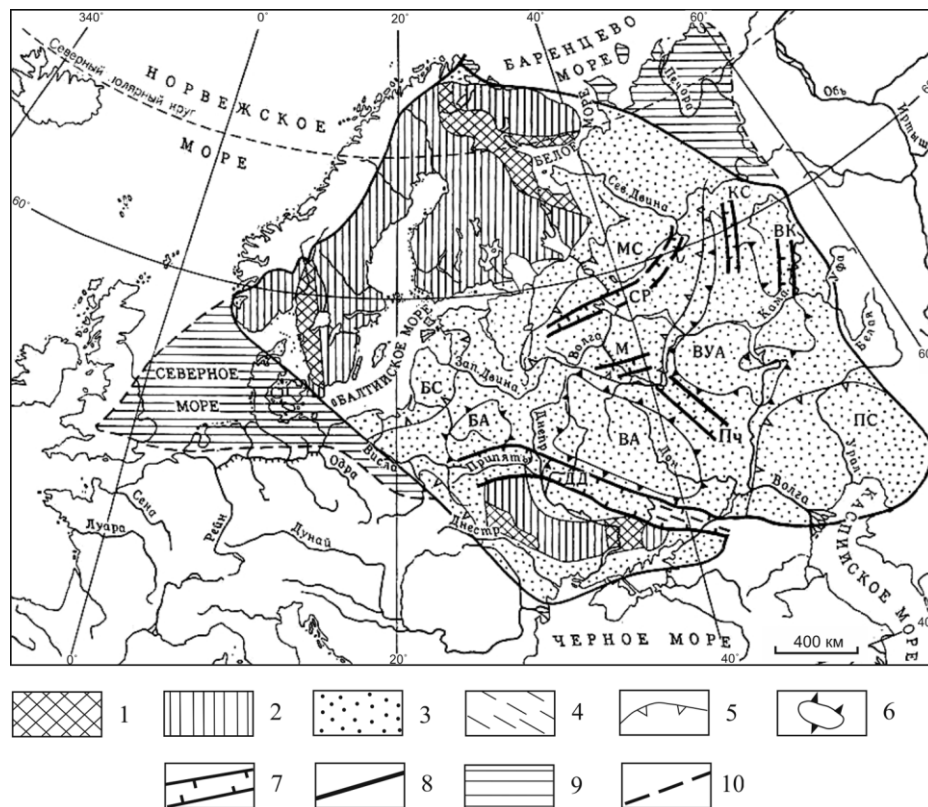


Рисунок 2.1. Обзорная тектоническая схема Восточно-Европейской платформы

1, 2 – выступы (выходы) фундамента (1 – архейский, 2 – карельский); 3 – эпикарельский чехол; 4 – складчатое сооружение Донбасса; 5 – синеклизы (БС – Балтийская, МС – Московская, ПС – Прикаспийская); 6 – антеклизы (БА – Белорусская, ВА – Воронежская, ВУА – Волго-Уральская); 7 – авлакогены (ВК – Верхнекамский, ДД – Днепровско-Донецкий, КС – Казанско-Сергиевский, М – Подмосковский (Московский), Пч – Пачелмский (Рязано-Саратовский), СР – Среднерусский); 8 – границы платформ; 9 – области с байкальским складчатым фундаментом; 10 – границы территорий с байкальским складчатым фундаментом.

Восточно-Европейская платформа является одной из наиболее изученных в геологическом отношении платформ мира. Здесь раньше, чем в других районах России, было

проведено системное глубокое бурение и получен значительный объем сейсмических исследований, позволяющих охарактеризовать геологическое строение территории. Восточно-Европейская платформа является типичным примером древних платформ.

На территории ВЕП разрабатывалась стратиграфия протерозоя, девона и карбона, выделены венд и пермская система, выделен волжский ярус, изучены эпохи докембрийского и четвертичного оледенений. В данном регионе впервые установлены авлакогены [Валеев, 1978]. Несмотря на высокую степень изученности, постоянно появляются факты, заставляющие пересматривать представления о строении и минерагении региона. Все это делает ВЕП важным полигоном для выявления закономерностей размещения различных типов оруденения в осадочном чехле.

Платформа имеет сложную современную структуру, сформировавшуюся за длительную историю развития от архея до антропогена [Геологические формации ... , 1981; Геологическое ... , т. 10, 1985; Геологическое ... , т. 10, 1989; Геология ... , 2006].

Рассматриваемый в работе регион, строго говоря, не полностью соответствует границам ВЕП, он несколько шире и захватывает территорию вала Карпинского, относящегося к Скифской (Скифско-Туранской) плите. Такое решение оправдывается расположением вала Карпинского, Складчатого Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины в пределах единой крупной тектонической структуры – линеамента Карпинского [Панов, 1988, 1994; Геология ... , 2006].

По периферии платформа обрамлена разновозрастными складчатыми системами и плитами (молодыми платформами), отделенными от нее чаще всего разломами глубинного заложения. На северо-западе граница проходит вдоль побережья Норвежского моря по надвигу складчатой системы скандинавских калеодонид, а на северо-востоке – байкалид (тиманид), слагающих основание Баренцевоморской и Тимано-Печорской плит.

По особенностям строения структурных форм и типу слагающих их формаций в осадочном чехле выделяется два структурных этажа, отвечающих двум основным периодам формирования осадочного чехла в условиях платформенного тектонического режима [Геологические формации ... , 1981; Геология .. , 2006]. Нижний этаж – рифейско-нижневендский характеризуется наличием линейных структур – авлакогенов, грабенов различного строения и прогибов, выполненных преимущественно терригенными и вулканогенными формациями, и верхний этаж – верхневендско-неогеновый, который в свою очередь подразделяется на два подэтажа: верхневендско-нижнетриасовый (нижнеюрский) и верхний среднеюрско-неогеновый.

1.1. Геологическое строение фундамента

Кристаллический фундамент ВЕП выходит на поверхность в пределах Балтийского и Украинского щитов и Воронежского кристаллического массива.

В составе фундамента ВЕП выделяются архейские, раннепротерозойские (карельские) и нерасчлененные ранне-среднепротерозойские (свекофеннские) складчатые системы и срединные массивы, сложенные различными структурно-вещественными комплексами метаморфических и изверженных пород [Геология ... , 2006]. Практически все архейские срединные массивы в той или иной степени были переработаны.

Фундамент ВЕП имеет блоковое строение и состоит из трех крупных блоков: Фенноскандия, Волго-Уралья и Сарматия, разделенных складчатыми поясами (Рисунок 2.2) [Bogdanova, Gorbachev, Garetsky, 2005]. Он осложнен рядом крупных погребенных рифтогенных структур – авлакогенов [Валеев, 1978] (Рисунок 2.3), которые на палеозойском и мезозойском этапах развития испытали структурное преобразование.

Рифейско-нижневендский структурный этаж характеризуется наличием линейных структур – авлакогенов, грабенов различного строения и прогибов, выполненных терригенными и вулканогенными формациями. По особенностям тектонического строения этаж разделяется на два структурных подэтажа: нижнерифейский (бурзянский) и нижнебайкальский.

Нижнерифейский (бурзянский) подэтаж распространен на востоке ВЕП в Калтасинском прогибе, на западе – в Оршанском прогибе и на склоне Балтийского щита. В Калтасинском прогибе его слагают песчаники, иногда кварцитовидные, гравелиты с прослоями конгломератов и аргиллитов. На южном склоне Балтийского щита к нему относятся образования хогландия, слагающие о. Гогланд в Финском заливе. Они представлены кварцитами, конгломератами, туфами и лавобрекчиями лабрадорных порфиров и лав основного состава, а также сиенит-порфирами и кварцевыми порфирами мощностью более 200 м. К нижнему рифею относятся приозерская и салминская свиты Ладожского прогиба, которые представлены аркозовыми песчаниками, конгломератами и прослоями аргиллитов, а также долеритами, базальтовыми порфиритами, туфами и разнообразными песчаниками. В Оршанском прогибе данный подэтаж представлен шеровичской серией – песчаники с фосфатно-апатитовым цементом.

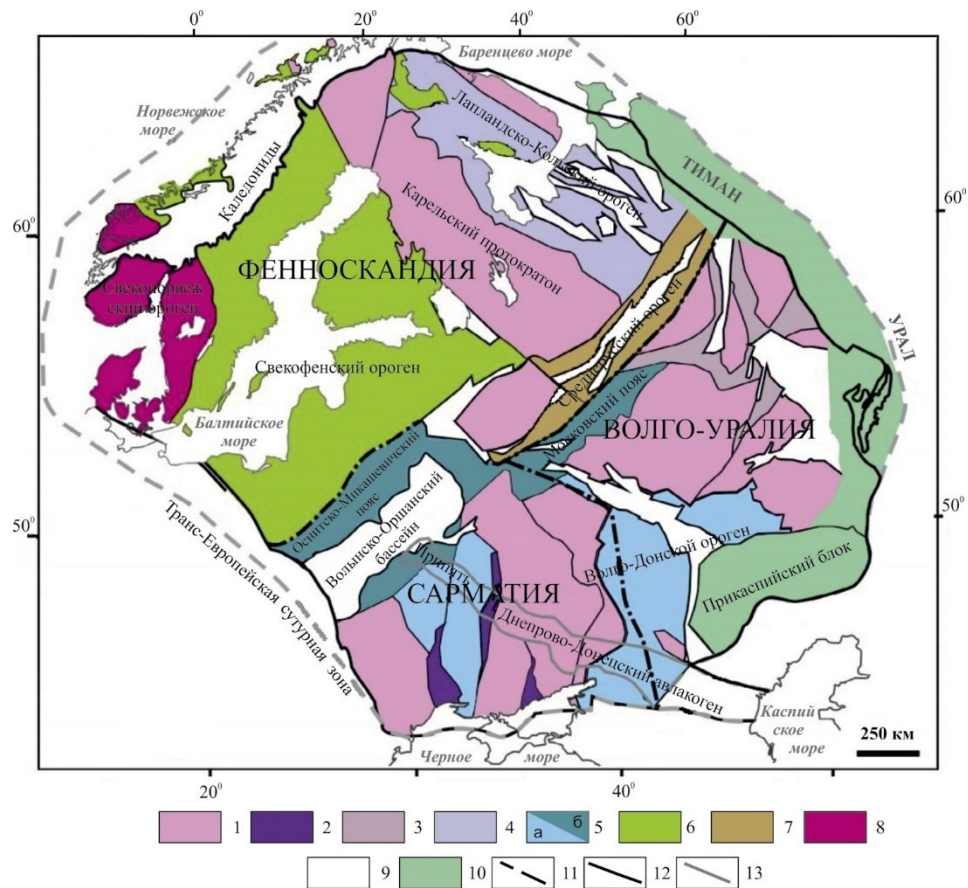


Рисунок 2.2 Схема строения кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы [Bogdanova, Gorbachev, Garetsky, 2005]

1 – архейская кора (3,8–2,6 млрд лет); 2–4 – преобразованная архейская кора: 2 – Сарматии (2,1–2,0 млрд лет), 3 – Волго-Уральского и других блоков (2,0–1,95 млрд лет), 4 – Лапландско-Кольского коллизионного пояса (1,94–1,90 млрд лет); 5, 6 – палеопротерозойская кора: 5 – Сарматии и Волго-Уралья (а – 2,35–2,05, б – 2,0–1,90 млрд лет), 6 – Фенноскандии (1,95–1,65 млрд лет); 7 – архейская и палеопротерозойская кора в пределах Среднерусского коллизионного пояса (1,8–1,75 млрд лет); 8 – кора Свеконорвежского орогена (возраст 1,1 - 0,95 млрд лет), в том числе готские домены (1,7–1,5 млрд лет); 9 – авлакогены платформенных бассейнов (1,6–0,7 млрд лет); 10 – блоки пассивной окраины (0,9–0,7 млрд лет); 11–13 – границы: 11 – литосферных сегментов, 12 – Восточно-Европейской платформы, 13 – Восточно-Европейского кратона в пределах неопротерозойских блоков и фанерозойских орогенов.

Нижнебайкальский структурный подэтаж сложен вулканогенно-осадочными толщами, выполняющими протяженные прогибы и авлакогены. Последние представляют собой узкие «борозды», расширяющиеся по направлению от центральных районов ВЕП к ее периферии [Валеев, 1978; Геология ... , 2006]. В этом направлении они постепенно расширяются, их строение усложняется, и они переходят в перикратонные прогибы. Участки авлакогенов, приуроченные к центральным районам платформы, выполнены относительно грубообломочными отложениями, которые к периферии ВЕП сменяются более тонкими осадками. Большинство авлакогенов расположено над древними подвижными поясами, разделяющими геоблоки дорифейского фундамента платформы – Фенноскандию, Волго-Уралью и Сарматия.

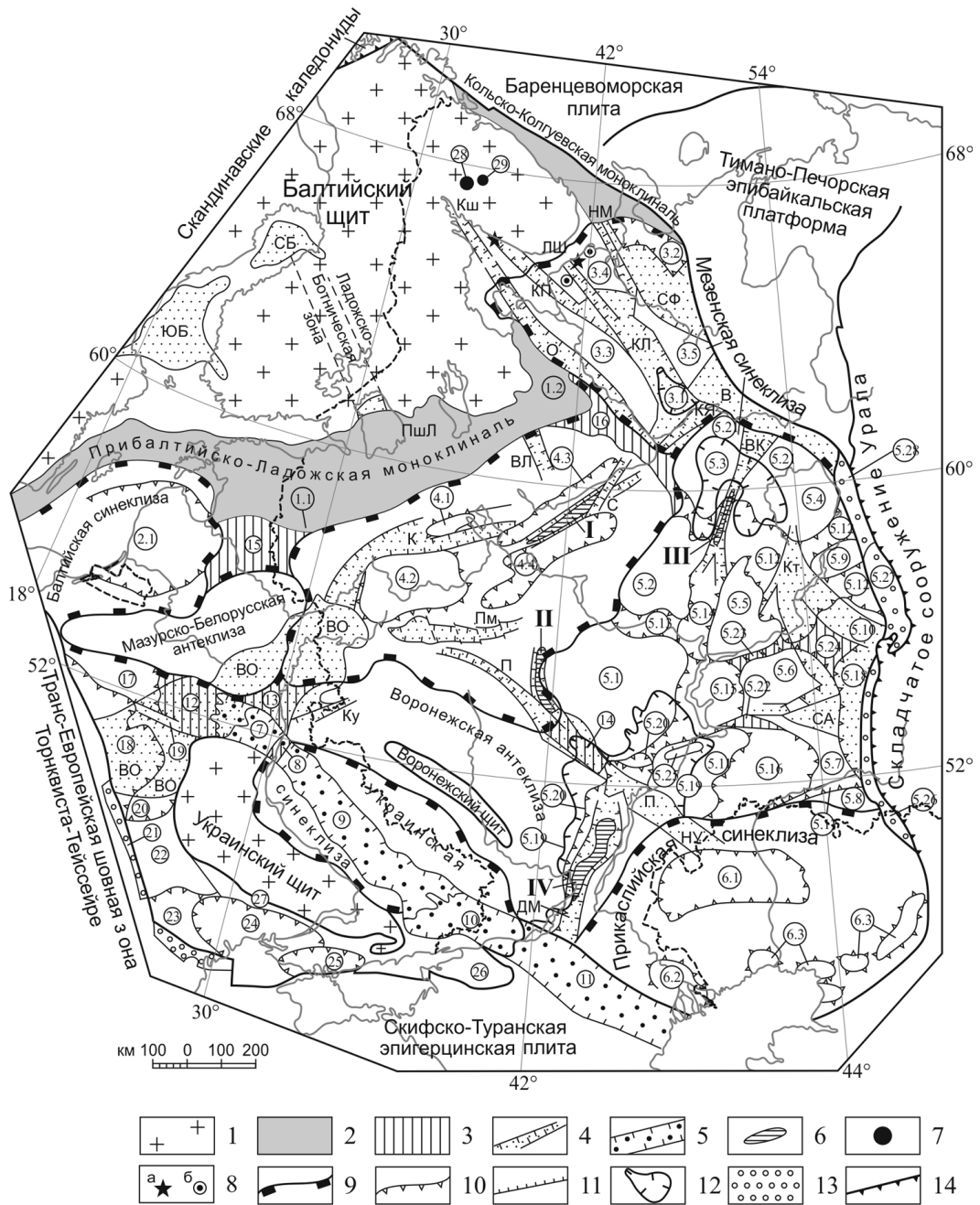


Рисунок 2.3 Схема тектонического районирования Восточно-Европейской платформы. Составлена автором с использованием [Геология ... , 2006]

1 – щиты; 2 – моноклинали (Кольско-Колгуевская, Прибалтийско-Ладожская); 3 – седловины; 4 – авлакогены и впадины рифейские (Авлакогены: ВК – Вятско-Кажимский, ВЛ – Воже-Лачский, ДМ – Доно-Медведицкий, К – Крестцовский, КЛ – Керецко-Леукуонский; Кт – Калтасинский (Камско-Бельский), КП – Керецко-Пинежский, Ку – Клиновский, Ки – Кандакишинский, КЯ – Котлас-Яренский, Ли – Леукуонский, НМ – Нижнемезенский, НУ – Ново-Узенский, О – Онежский, П – Пачелмский (Рязано-Саратовский), Пм – Подмосковский (Московский), ПшЛ – Паиско-Ладожский, С – Солигаличский и Рослятинский, СА – Сергиевско-Абдулинский. Впадины и прогибы: СБ – Северо-Ботническая, ЮБ – Южно-Ботническая, ВО – Вольно-Оршанская, В – Вычегодский, Сф – Сафоновский); 5 – рифты палеозойские; 6 – инверсионные структуры (I – Рыбинско-Сухонский мегавал, II – Окско-Цнинский мегавал, III – Вятский мегавал, IV – Доно-Медведицкий мегавал); 7 – девонские массивы щелочно-ультраосновных пород; 8 – девонские трубки взрыва: а – кимберлитов и мелилитов, б – толеитовых базальтов; 9–12 – границы: 9 – синеклиз и антеклиз, 10 – впадин, прогибов и сводов, 11 – выступов, валов, 12 – мезо-кайнозойских наложенных прогибов; 13 – краевые прогибы складчатого

обрамления платформы; 14 – надвиги. Цифрами обозначены: 1 – Прибалтийско-Ладожская моноклиналь: 1.1 – Валмиерско-Локновское поднятие; 1.2 – выступ Ветреного Пояса; 2 – Балтийская синеклиза: 2.1 – Литовско-Латвийская впадина; 3 – Мезенская синеклиза: 3.1 – Ваишская впадина; 3.2 – Пёйшская впадина; 3.3 – Архангельский выступ; 3.4 – Кулойский выступ; 3.5 – Ваишкинский выступ; 4 – Московская синеклиза: 4.1 – Пестовский выступ; 4.2 – Нелидово-Торжокский выступ; 4.3 – Грязовецко-Тарногский прогиб; 4.4 – Ярославско-Галицкий прогиб; 5 – Волго-Уральская антеклиза: Своды: 5.1 – Токмовский; 5.2 – Котельнический; 5.3 – Сыктывкарский; 5.4 – Коми-Пермяцкий; 5.5 – Северо-Татарский; 5.6 – Южно-Татарский; 5.7 – Оренбургский; 5.8 – Соль-Илецкий; 5.9 – Пермский; 5.10 – Башкирский; 5.11 – Жигулёвско-Пугачёвский. Впадины и прогибы: 5.12 – Верхнекамская; 5.13 – Ветлужская; 5.14 – Казанско-Кажимский; 5.15 – Мелекесская; 5.16 – Бузулукская; 5.17 – Оренбургский грабен; 5.18 – Салмышская; 5.19 – Ульяновско-Саратовский; 5.20 – Нижневолжский; 5.21 – Вятско-Камская. Седловины: 5.22 – Сокская; 5.23 – Сарайлинская; 5.24 – Бирская, 5.25 – Жигулёвский вал; 5.26–5.28 – Предуральский краевой прогиб, впадины: 5.26 – Бельская; 5.27 – Юрюзано-Сылвенская; 5.28 – Соликамская; 6 – Прикаспийская синеклиза: 6.1 – Центрально-Прикаспийский прогиб; 6.2 – Астраханский свод; 6.3 – Актюбинско-Астраханская зона поднятий; 7 – Припятско-Дно-Мангышлакская рифтовая система, Припятский грабен (впадина); 8 – Брагинский выступ (седловина); 9 – Днепровский грабен (Днепровско-Донецкий авлакоген); 10 – складчатое сооружение Донбасса; 11 – Дно-Мангышлакская складчатая система; 12–16 – крупнейшие седловины: 12 – Полесская, 13 – Жлобинская, 14 – Рязано-Сердобская, 15 – Латвийская, 16 – Сухонская; 17–24 – впадины, прогибы, выступы и поднятия юго-западной окраины платформы: 17 – Брестская впадина, 18 – Львовско-Люблинский прогиб, 19 – Ратновский выступ (горст), 20 – Волынская впадина, 21 – Предкарпатский краевой прогиб, 22 – Северо-Молдавское поднятие, 23 – Преддобруджинский прогиб, 24 – Причерноморская впадина; 25 – Каркинитская впадина; 26 – Ростовский погребенный выступ Украинского щита; 27 – южный погребенный склон Украинского щита; 28 и 29 – Хибинский и Ловозерский щелочной массивы.

Среднерусская система авлакогенов состоит из двух самостоятельных: Солигаличского и Крестцовского. Рифейские отложения Солигаличского авлакогена в восточной его части представлены темноцветными аргиллитами и алевролитами с подчиненными прослоями и пачками песчаников, а в западной части – песчаниками полимиктовыми, аркозовыми и кварцевыми от мелкозернистых до грубозернистых, переходящих в гравелиты и конгломераты (путиловская и рослятинская серии). В восточной части Крестцовского авлакогена (Молоковский и Бологоевский грабены) рифей представлен двумя сериями. Нижняя – бологоевская (мощность 675–770 м), представленная маломощными пачками песчаников, перекрытыми в верхней части мощной толщей аргиллитов и алевролитов. В западной части авлакогена среди песчаников вскрыта 170-метровая толща туфов и туфогенных песчаников, изотопный возраст которых калий-аргоновым методом определен в 1130 млн лет. По прорывающим песчаники нижней части рифейского разреза глубоких скважин диабазам получены несколько более древние датировки: 1245–1345 млн лет [Геология ... , 2006].

Подмосковный (Московский) авлакоген выполнен трехкилометровой толщей чередующихся песчаников и алевроново-глинистых пород с подчиненными карбонатами.

Сергиевско-Абдулинский авлакоген располагается в юго-восточной части ВЕП и имеет широтное простираие. Он выполнен терригенной толщей мощностью более 2000 м, представленной красноцветными кварцевыми и кварц-полевошпатовыми песчаниками, переходящими в гравелиты и конгломераты.

Пачелмский (Рязано-Саратовский) авлакоген в виде узкого грабена начинается в центральной части ВЕП и, постепенно расширяясь, сочленяется с Прикаспийской впадиной. Он выполнен в нижней части континентальными красноцветными песчаниками и гравелитами мощностью более 1680 м, а в верхней – тонкослоистыми алевро-глинистыми породами с пачками доломитов (более 1 км).

Онежский авлакоген выполнен терригенными отложениями солончужной и ненюкской свит. Первая представлена сероцветными полимиктовыми песчаниками с прослоями конгломератов и гравелитов, аргиллитов и алевролитов. В низах свиты присутствуют покровы базальтов и долеритов. Мощность свиты – 112–207 м. Ненюкская свита мощностью 200–220 м представлена пестроцветными (фиолетово-коричневые до оранжевых) мелкозернистыми, реже среднезернистыми кварцевыми и реже полевошпат-кварцевыми песчаниками с пачками гравелитов.

Керецко-Пинежский авлакоген представляет собой сложное сочетание горстов и грабенов, выполненных красноцветными и серыми аркозовыми песчаниками и алевритово-глинистыми породами и гравелитами.

Вятско-Кажимский авлакоген, расположенный в северо-восточной части платформы, выполнен красноцветными песчаниками мощностью 240 м.

Рифейские прогибы, выделяемые на платформе, по своему положению могут быть разделены на интракратонные (Ладожский, Оршанский) и перикратонные (Камско-Бельский, Лешуконско-Сафоновский, Азовский, Волынский).

Ладожский прогиб выполнен отложениями приладожской и яблоньской свит. Первая из них мощностью 70 м представлена чередующимися песчаниками, аргиллитами, доломитами, доломитовыми известняками и конгломератами. Яблоньская свита (мощность 70–100 м) представлена разнозернистыми песчаниками, включающими редкие гальки и обломки подстилающих пород.

Оршанский прогиб выполнен в нижней части разреза красноцветными кварц-полевошпатовыми песчаниками и алевро-глинистыми породами руднянской свиты (305 м) и красноцветными кварцевыми песчаниками оршанской свиты (620 м). В верхней части разреза представлен песчаниками с прослоями конгломератов, алевро-глинистых пород и доломитов.

Камско-Бельский прогиб выполнен чередующимися кварцевыми песчаниками и карбонатно-глинистыми породами, сходными с разрезами рифея в прилегающих районах западного склона Урала.

Лешуконско-Сафоновский прогиб выполнен полевошпат-кварцевыми красноцветными песчаниками, алевролитами и аргиллитами мощностью более 2 км.

Азовский прогиб располагается восточнее Ростовского выступа кристаллического фундамента и выполнен слабометаморфизованными рифейскими карбонатно-терригенными породами мощностью более 1200 м.

1.2. Геологическое строение осадочного чехла

Осадочный чехол ВЕП представлен отложениями верхневендско-неогенового (плитного) структурного этажа, который подразделяется на два подэтажа: верхневендско-нижнетриасовый (нижнеюрский) и среднеюрско-неогеновый [Геологические формации ... , 1981; Геологи ... , 2006]. Характеристика осадочных комплексов, слагающих осадочный чехол, приводится по основным крупным тектоническим элементам ВЕП.

Верхневендско-нижнетриасовый (нижнеюрский) структурный подэтаж.

Важнейшими структурами западной части ВЕП являются Балтийская синеклиза, Мазурско-Белорусская антеклиза и Вислянско-Днестровская зона перикратонных погружений [Геология ... , 2006]. Последняя в современном структурном плане представлена группой структурных элементов.

Балтийская синеклиза по поверхности фундамента представляет собой крупную, наклоненную к юго-западу впадину. Глубина залегания фундамента увеличивается к юго-западу до 3,5–4 км и более. Поверхность фундамента осложнена многочисленными выступами, ступенями, горстами, грабенами, прогибами, террасами, как правило, ограниченными сбросами, с амплитудой от нескольких десятков до нескольких сот метров.

В строении нижнепалеозойского и каледонского структурного яруса (СЯ) выделяются отложения нижнего – среднего кембрия, ордовика – нижнего девона (лохковский ярус). Основание комплекса слагают терригенные отложения балтийской серии кембрия (томмотский ярус) (30–250 м). В осевой части Балтийской синеклизы в составе нижнепалеозойских отложений установлено присутствие магматических интрузивных пород – оливиновых долеритов. Время их внедрения – предположительно девон – карбон [ГГК, N-(34), ... , 2011].

Среднепалеозойский структурный ярус, сложенный девонскими отложениями, начинается терригенным пестроцветным комплексом формаций раннедевонско-раннефранского возраста с базальным конгломератом в основании (кемерский горизонт,

пражский ярус) мощностью до 500 м, сменяющейся выше сульфатно-карбонатным комплексом мощностью до 160 м. Залегающие на девоне отложения татарского яруса представлены континентальной пестроцветной терригенной формацией молассоидного типа мощностью до 50 м.

Мазурско-Белорусская антеклиза ограничивает с юга Балтийскую синеклизу. Глубина залегания кристаллического фундамента – 50–87 м в своде и 700 м на крыльях. Характеризуется блоковым строением с амплитудами смещения по разломам от десятков до первых сотен метров. На своде Мазурского выступа залегает нижнекембрийская терригенная формация мощностью до 155 м.

Вислянско-Днестровский прогиб. В строении фундамента ему отвечает зона перикратонных погружений с глубиной залегания от 200–500 м на востоке до 6–8 км на западе в области сочленения с Датско-Польским прогибом. Мощность вендско-нижнекембрийских (балтийская серия) образований – до 1000 м и более в Преддобруджье, а нижнепалеозойских отложений – до 2–3 км.

На фоне общего моноклиального погружения поверхности фундамента с востока на запад выделяется ряд структур, поперечных к простиранию прогиба: Подляско-Брестская и Волынская впадины, разделенные Лукувско-Ратновским выступом фундамента.

Нижнепалеозойская часть разреза представлена кембрийскими терригенными сероцветными отложениями мощностью от 350 до 750 м. Отложения позднего ордовика – раннего девона представлены терригенно-карбонатными и карбонатно-терригенными отложениями. Нижнедевонский интервал разреза представлен терригенными красноцветными отложениями молассоидного типа мощностью до 1 км.

Львовско-Люблинский прогиб, наложенный на Вислянско-Днестровский прогиб, выполнен терригенно-карбонатными отложениями верхнего визе и параличскими комплексами серпуховско-башкирского возраста. Мощность этой части разреза достигает 1500 м.

Структуры центральной и восточной частей ВЕП. Московская и Мезенская синеклизы. Существует мнение о необходимости рассмотрения Мезенской синеклизы в качестве составной части единой Московской синеклизы [Геология ... , 2006]. Строение Сухонской седловины, по которой проводится граница двух синеклиз, в должной мере не изучено.

Верхневендско-нижнекембрийский СЯ, представленный терригенными отложениями, залегающими на гетерогенном основании – фундаменте рифейско-нижневендских образований. В Московской синеклизе глубина залегания подошвы СЯ – до 3–3,5 км. Рельеф поверхности фундамента осложнен системой многочисленных разломов. В Мезенской

синеклизе к осевой части впадины фундамент располагается на глубине 1,5–2 км, а в перикратонных прогибах (Сафоновский, Вычегодский) более 3 км.

Помимо инверсионных валообразных структур в южной и юго-восточной краевых частях Московской синеклизы выявлен ряд кольцевых структур диаметром до 80 км. Наиболее крупные из них – Пучеж-Катунская и Калужская. Генезис этих структур остается дискуссионным, при этом существует точка зрения о ее импактном [Геология астроблем, 1980; Геология ... , 2006] и эндогенном [Петров, 1971] происхождении. В южной части Московской синеклизы выделено 18 локальных тектонических структур – Калужская, Воробьевская, Нагайская, Дугнинская и др. [Петров, 1971]. Они расположены в пределах Калужско-Бельской структурной зоны, вытянутой в северо-западном направлении. Наиболее крупные локальные структуры – Калужская и Дугнинская – имеют кольцевую форму диаметром до 15 км.

Нижнекембрийско-нижнедевонский СЯ распространен в западной и центральной приосевых частях Московской синеклизы. Его мощность составляет до 700, реже 1000 м. Наиболее полные разрезы, представленные терригенными кембрийскими и терригенно-карбонатными ордовикскими и местами силурийскими отложениями, приуроченными к Грязовецко-Тарногскому и Ярославско-Галичскому компенсационным прогибам, формировавшимся по обе стороны от сопряженного с ними Рыбинско-Сухонского мегавала.

С тектонически активной зоной авлакогенов связаны проявления вулканизма раннедевонского времени, проявленные в смене терригенной красноцветной формации нижнего девона мощностью 130 м, туффитово-песчаниковой и базальтовой пирокластической формациями (мощностью до 25 м), содержащими пластовые тела долеритов мощностью 1–5 м [Геологические формации ... , 1981].

Нижнедевонско-нижневизейский (среднепалеозойский) СЯ Московской синеклизы в нижней части представлен терригенными формациями с участием сульфатно-карбонатных (в эйфеле), карбонатных (средний фран – нижний фамен), сульфатно-карбонатных и карбонатотерригенных отложений в верхах разреза (средний фамен – турне). Завершает разрез СЯ угленосный терригенный комплекс, содержащий в периферических частях синеклизы, главным образом прилежащих к Балтийскому щиту (Тихвинский район) и Воронежской антеклизе (Белгородский район), залежи бокситовых пород бобриковского – тульского возраста мощностью в несколько десятков метров.

Верхневизейско-нижнетриасовый СЯ представлен в границах Московской синеклизы терригенно-карбонатными, карбонатными и сульфатно-карбонатными отложениями от верхов визейского яруса нижнего карбона до нижнеартинского подъяруса нижней перми. Завершается разрез СЯ песчаниковой, глинисто- и гравелито-песчаниковой красноцветными формациями

позднепермского (верхнетатарский подъярус) – раннетриасового возраста, мощностью до 300 м. Глубина залегания и мощность СЯ в целом увеличиваются с запада на восток.

Волго-Уральская антеклиза. Ее основанием является сильно расчлененный массив кристаллического фундамента размером 800–1000 км, залегающий на глубине от 0,8–1,5 до 2,5–3 км на сводах до 4–5 км на склонах антеклизы. Рельеф поверхности фундамента имеет сложное строение и представляет собой совокупность систем изометричных поднятий-сводов, куполов, выступов и мульд, впадин и грабенообразных прогибов.

Основную сводовую часть антеклизы составляют две зоны поднятий меридионального простирания: западная – Токмовско-Котельничско-Сыктывкарская и восточная – Татарско-Коми-Пермяцкая, представленная Южно-Татарским, Северо-Татарским (Немским) и Коми-Пермяцким сводами. Зоны поднятий разделены рифейским Вятско-Кажимским авлакогеном и наследующим его девонским Казанско-Кажимским грабенообразным прогибом.

Наиболее высокие гипсометрические отметки фундамента имеют Токмовский (800 м), Татарский (1520 м) своды, Кукморский (1438 м) и Лойненский (1597 м) выступы Коми-Пермяцкого свода. Относительные превышения сводов над разделяющими их седловинами, грабенами и впадинами изменяются от нескольких десятков до 1000 м (Токмовский свод). Жигулёвско-Пугачёвский свод характеризуется резко асимметричным строением: на севере и северо-западе он ограничен глубинным разломом и крупным взбросом (Жигулёвский вал), по которому сочленяется с юго-западной ветвью Мелекесской впадины. Соль-Илецкий выступ, находящийся в юго-восточном углу антеклизы, с глубиной залегания фундамента 4500–5000 м по системе тектонических ступеней сочленяется с Прикаспийской впадиной.

К числу наиболее значительных отрицательных структур, сложенных среднепалеозойским СЯ, относятся Верхнекамская, Бузулукская, Мелекесская впадины и Казанско-Кажимский прогиб, наследующий простирание рифейского авлакогена.

Нижнедевонско-нижневизейский СЯ Волго-Уральской антеклизы имеет мощность от 700–800 м (Казанско-Кажимский прогиб) до 1500 м. Анализ геофизических материалов, в значительной степени подтвержденных бурением, свидетельствует о важнейшей роли разломов в строении антеклизы. В фундаменте антеклизы установлены системы тектонических нарушений – многочисленные малоамплитудные (50–100 м) узкие и протяженные грабены (0,5–2 × 100–120 км), выполненные чаще всего среднедевонскими отложениями, создающими его горст-грабеновую структуру [Шашель, Папухин, Марченкова, 2002]. Связанные с ними деформации чехла имеют сбросово-сдвиговый характер, вызванный первичными растяжениями с последующими сжатиями и диагональносдвиговой трещиноватостью [Шашель, Папухин, Марченкова, 1997]. Наиболее рельефно на поверхности фундамента и в осадочном чехле

Бузулукской впадины выражена Жигулёвско-Самаркинская зона дислокаций, являющаяся восточным продолжением Жигулёвского вала, прослеживаясь на расстояние более 150 км.

С активной разломной тектоникой в пределах Волго-Уральской антеклизы связаны проявления магматизма в Казанско-Кажимском прогибе и на Татарском своде, приуроченные к пашийскому и таманскому горизонтам нижнефранского подъяруса.

Основание девонского разреза слагают формации терригенного сероцветного комплекса (эмс, местами нижний эйфель, 100 м), залегающие как на породах фундамента, так и верхнего протерозоя. Выше они сменяются карбонатно-терригенным, а затем, со среднего франа, – карбонатным комплексом, слагающим большую часть разреза. Существенную роль в разрезе среднепалеозойского СЯ сыграли также доманиковые и рифогенные формации, приуроченные главным образом к Камско-Кинельской системе некомпенсированных прогибов (ККСП) [Геология ... , 2006].

Верхнюю часть среднепалеозойского СЯ Волго-Уральской антеклизы слагают терригенные и карбонато-терригенные угленосные отложения мощностью до 250 м. Завершает строение СЯ в Предуралье угленосная глинисто-песчаная формация бобриковского – тульского возраста мощностью до 220 м.

В восточной части антеклизы, отложения этого СЯ представлены карбонатными комплексами, которые сменяются терригенно-карбонатными отложениями от башкирского яруса карбона до артинского яруса перми суммарной мощностью до 1300 м.

Нижневожский прогиб имеет сложное строение, что определяется разломной тектоникой и образованием структурных форм разного времени заложения, порядка и генезиса. С разломной тектоникой, сопровождавшейся разнонаправленными движениями блоков фундамента, связано образование грабенов, грабенообразных прогибов, сбросов, взбросов.

Преобладающая роль в разрезе палеозоя нижневожского прогиба принадлежит терригенно-карбонатным и карбонатным формациям и, в частности, рифогенным, широко распространенным по всему разрезу девонских, а в прибортовой зоне – визейских и нижнепермских (ассельский – нижеартинский ярус) отложений. Мощность отложений нижнего девона – ниженого визе – от 1,3 до 6–6,5 км.

Воронежская антеклиза представляет собой поднятие фундамента, перекрытое маломощным осадочным чехлом. Антеклиза характеризуется асимметричным строением: северо-восточное крыло ее пологое и широкое с глубиной залегания фундамента до 1250 м и углами падения, составляющими доли градусов (2–3 м на 1 км); южное и юго-западное – более крутое (10 м на 1 км) и узкое, осложненное ступенчатыми сбросами с глубиной залегания фундамента до 5–6 км.

Девонские отложения слагают северо-западное и северо-восточное крылья антеклизы, тогда как нижнекаменноугольные отложения – юго-западное и южное. В сводовой части антеклизы на фундаменте залегают мезокайнозойские образования. В юго-восточном крыле Воронежской антеклизы наряду с осадочным выделяются вулканогенно-осадочные и вулканогенные образования позднефранского возраста. Они прослеживаются широкой полосой по левобережью р. Дон и контролируются зоной глубинных разломов.

Вулканогенный комплекс, сложенный покровами базальтов, приурочен к Лосевско-Мамоновской, Микулинско-Новохоперской и другим зонам глубинных разломов. Покровы залегают либо на отложениях песчано-глинистых, местами вулканогенно-осадочных раннефранского возраста, либо на породах фундамента. Глубина залегания покровов изменяется от 13 м на западе до 1232 м на востоке площади своего распространения и имеют мощность от 1–10 до 130 м. Лавы извергались в континентальных условиях из аппаратов центрального типа, характер вулканизма был многостадийный, пульсирующий. В юго-восточной присводовой части Воронежской антеклизы располагаются позднефранские песчано-каолиновые отложения мощностью от 25–50 до 250–280 м.

Среднеюрско-неогеновый структурный подэтаж. Влияние подстилающих структур на строение этой части осадочного чехла проявилось в образовании не только отрицательных, но и положительных, главным образом инверсионных структурных форм, а также разломной тектоники, формирующей надвиги, флексуры и другие дислокационные формы.

Отложения данного подэтажа залегают с крупным стратиграфическим и структурным несогласием на более древних образованиях, включая породы дорифейского фундамента. К числу наиболее крупных новообразованных структур среднеюрско-неогенового этапа развития относятся Ульяновско-Саратовский прогиб, Украинская синеклиза (заложенная на месте Днепровско-Донецкой впадины), Припятский прогиб, Воронежский и Украинский массивы, Польско-Литовская синеклиза. Для данного подэтажа характерны терригенные и терригенно-карбонатные сероцветные отложения.

Вятско-Камская впадина. В ее строении участвуют терригенные сероцветные отложения, представленные континентальными гравийно-песчаными отложениями нижней юры мощностью 31 м и глинисто-песчаными отложениями байос-батского возраста (120 м).

Верхняя часть СЯ представлена терригенно-карбонатным комплексом в составе верхнеюрской известняково-песчано-глинистого комплекса с фосфоритами и глауконитом (до 50 м), с горючими сланцами средневожского возраста (10 м) и песчано-глинистыми отложениями верхней юры – нижнего мела мощностью в несколько десятков метров.

Московская впадина приурочена к южной приосевой части одноименной синеклизы. Слагающий ее нижний СЯ среднеюрско-раннемелового возраста в пределах Ярославско-

Галичского прогиба контролируется разломами. В строении впадины участвует терригенный комплекс отложений мощностью свыше 100 м.

В нижней части разреза располагается среднеюрская байос-батская континентальная глинисто-песчаная, местами угленосная формация мощностью до 80 м, которая вверх по разрезу сменяется морской карбонатно-терригенной формацией келловой (средняя юра) – титонского (поздняя юра) возраста. На юге и в центре впадины преобладают карбонатные глины (60 м) с прослоями глауконитовых песков с фосфоритами [Геологические формации ... , 1981].

Верхняя часть разреза СЯ представлена отложениями терригенной сероцветной, преимущественно континентальной формации (30–40 м) аптского, местами и альбского возраста. Суммарная мощность юрско-нижнемелового СЯ не превышает 200 м. Завершает разрез морская песчаная глауконит-фосфоритовая альб-сеноманская и кремнистая туронская формация.

Ульяновско-Саратовский прогиб – одна из крупных (500 × 250 км) наложенных структур мезо-кайнозойской эпохи, заложившихся в ранней юре на размытой поверхности верхнепалеозойских образований. Наибольшая суммарная мощность мезозойско-кайнозойских образований достигает 600 м в осевой части прогиба.

В строении прогиба участвуют главным образом плитные терригенные, кремнистые и терригенно-карбонатные комплексы (верхний мел), представленные набором различных по своему генезису формаций. Верхняя часть разреза Ульяновско-Саратовского прогиба представлена двумя формациями: кремнисто-песчаниковой в нижней части и кварц-глауконитовых песков, и глин в верхней.

Прикаспийская синеклиза является унаследованной от палеозойской впадины того же названия. Структурный облик Прикаспийской синеклизы определяется активным проявлением дислокаций, связанных с проявлением соляной тектоники.

Разрез СЯ слагают формации: морские и лагунно-морские терригенные и терригенно-карбонатные среднего триаса мощностью от 500 до 1200 м; континентальными пестро- и сероцветными песчано-глинистыми формациями с прослоями углей верхнего триаса мощностью до 300–500 м; континентальные терригенные ниже-среднеюрские с прослоями углей мощностью от 150 до 650 м. Выше залегают морские и прибрежно-морские терригенные и карбонатно-терригенные комплексы средней юры (келловой) до аптского яруса нижнего мела, мощностью от 600 до 1500 м. На юго-западе синеклизы, в Сарпинском прогибе верхи титона представлены соленосной формацией мощностью до 800 м, которые замещаются на востоке синеклизы морскими отложениями: черными глинами, сланцами, алевролитами, песчаниками и известняками мощностью до 40–50 м. Выше залегают терригенные и терригенно-карбонатные

комплексы верхнего мела мощностью от 200 до 615 м. Верхняя часть разреза представлена карбонатно-терригенным и карбонатным преимущественно известняковым комплексами.

Украинская синеклиза, наследуя простирание Днепровско-Донецкой впадины, прослеживается в направлении с северо-запада на юго-восток на расстояние около 700 км при ширине до 300 км.

В основании СЯ залегает песчано-глинистая угленосная формация байоса – бата (200 м), к центральной части синеклизы замещающаяся морской глинистой формацией мощностью до 300 м. В зоне разломов, ограничивающих Донбасс с запада и северо-запада, выделяется вулканогенно-осадочная формация (50–60 м), представленная туфобрекчиями, туфоконгломератами с прослоями глин и известняков, образовавшихся в условиях подводного вулканизма. На юго-востоке синеклизы располагается кремнисто-карбонатная формация келловей-оксфордского возраста, в северо-восточной части синеклизы – глинисто-мергельная формация кимеридж-титонского возраста мощностью до 200 м. Выше залегает континентальная формация верхней юры – нижнего мела, представленная терригенными сероцветными угленосными отложениями мощностью до 210 м.

Выше по разрезу залегает альб-сеноманская песчаниковая кварц-глауконитовая формация мощностью до 100 м, которая согласно перекрыта морской мергельно-меловой формацией турон-маастрихтского возраста мощностью до 480 м. Разрез завершает континентальная песчано-глинистая олигоцен-миоценовая формация (полтавская свита) мощностью до 60 м.

Польско-Литовская синеклиза расположена в западной части ВЕП. В основании СЯ залегает верхнетриасово-нижнеюрская песчано-глинистая формация мощностью до 130 м, на которой залегает среднеюрская (байос – бат) континентальная терригенная формация, сложенная песчаниками, черными глинами с прослоями угля и кварцевых песков мощностью 100 м. Выше по разрезу следует морская известняково-алевролитоглинистая формация средней–верхней юры мощностью до 250 м. Она в свою очередь перекрыта морской (альб-сеноманской) песчаниковой кварц-глауконитовой, фосфоритоносной формацией мощностью 162 м и морской мергельно-меловой формацией турон-маастрихтского возраста мощностью 150–250 м. Выше залегает глауконитовая глинисто-песчаниковая формация палеоцена – нижнего олигоцена мощностью до 100 м. Завершает разрез континентальная песчано-глинистая буроугольная формация миоценового возраста мощностью до 70 м с пластами угля мощностью до 10–15 м.

В южной периферии ВЕП располагается Причерноморская впадина, рассматриваемая большинством авторов как наложенная верхнемеловая структура, сформировавшаяся на гетерогенном основании разновозрастных платформ (ВЕП и Скифской) и разделяющей их зоне

Причерноморского шовного грабена. В строении ее участвуют терригенные и карбонатно-терригенные, преимущественно известняковые отложения кайнозоя общей мощностью до 2,5–3 км.

Линеамент Карпинского. В южной части Восточно-Европейской платформы располагается крупнейший палеозойский тектонический линеамент Восточной Европы – линеамент Карпинского, в состав которого входит ряд структур: Припятский прогиб, Днепровско-Донецкая впадина, Складчатый Донбасс, вал Карпинского и др. Линеамент имеет северо-западную ориентировку и протягивается от Брестского прогиба до Южного Тянь-Шаня, через территорию Белоруссии, восток Украины, Россию, Казахстан, Узбекистан и Таджикистан. Характеристика геологического строения и металлогении этой структуры отражена в ряде работ [Успенская, 1961; Айзберг, Гарецкий, Синичка, 1971; Хаин, 1977; Гавриш, Добрянский, Мурич, 1984; Панов, 1988; 1994; Афанасьев, 1997; Оровецкий, Коболев, Калюжная, 2005].

Для всех структур, входящих в систему этого линеамента, характерна повышенная мобильность и активные тектонические движения земной коры, сопровождавшиеся возникновением разломов, складчатости, магматизма, специфической минерагенией, как это можно видеть на примере Донбасса и Южного Тянь-Шаня. Несмотря на значительное их удаление друг от друга, они обладают целым рядом сходных геологических особенностей. Важнейшая их общая черта – широкое развитие дислоцированных в заключительные стадии герцинского орогенеза средне и верхнепалеозойских осадочно-вулканогенных формаций, которые образуют структуры субширотного простирания, залегающие на раздробленном докембрийском кристаллическом фундаменте. Возникшие в связи с герцинским магматизмом и последующей активизацией изверженные породы, особенно субщелочные габброиды и базальтоиды, отличаются геохимической специализацией на ртуть, фтор, свинец, редкие земли и другие элементы. Примечательная особенность сравниваемых областей – взрывные образования, в том числе трубки взрыва, заполненные кимберлитоподобными породами, а также брекчиями мончикит-камptonит-лимбуригит-пикритового состава. Образовавшийся в связи с явлениями активизации специфический для Донецкого бассейна ряд стибнит-киноварной, флюоритовой, полиметаллической, редкометалльной и золоторудной формаций доминирует в Южном Тянь-Шане. Это сходство не может быть случайным.

В южной периферии ВЕП фрагмент линеамента Карпинского рассматривается как Припятско-Доно-Мангышлакская складчатая система. Она прослеживается на расстояние более 1600 км по территории России, Украины, Белоруссии и является трансрегиональной. Единая система в результате деформаций оказалась расчлененной на ряд структур I порядка: Припятский и Днепровский грабены, Донецкое складчатое сооружение, вал Карпинского. Границы Днепровского грабена, Донбасса и вала Карпинского в значительной мере условные.

Однако первая из них имеет принципиальное значение, так как ею определяется граница ВЕП. Формирование Припятско-Донско-Мангышлакской складчатой системы, приуроченной к зоне глубокого палеорифта, началось в девоне. В рельефе палеозойского складчатого основания Донбасс и вал Карпинского представляют собой огромное горсто-сводовое поднятие асимметричного строения, при более крутом южном крыле и общем наклоне поверхности с северо-запада, от выхода складчатого основания (Донецкий кряж) на поверхность, на юго-восток до глубины 5–6 км [Геология ... , 2006; ГГК L-38 ... , 2011].

Новейшими сейсмическими исследованиями выявлены различия в строении западной (Донецкой) и восточной (вал Карпинского) частей складчатой системы. Вместе с тем, тип и особенности строения земной коры в обеих этих структурах являются характерными для континентальных рифтов. В Донбассе подошва складчатого палеозойского фундамента фиксируется на глубинах 15–18 км, в пределах вала Карпинского – 20–22 км.

Западная, открытая и погребенная части Донбасса, слагающие фундамент вала Карпинского, представлены двумя СЯ: нижним (средний девон – нижнее визе) и верхним (верхнее визе – нижняя пермь).

Нижний СЯ представлен терригенными и вулканогенными (щелочно-ультраосновной и щелочно-базальтоидной) формациями, претерпевшими складчатость, катагенез. Верхний СЯ сложен паралической угленосной формацией, смятой в узкие, выдержанные с главной антиклиналью посередине линейные складки, выходящие на дочетвертичную поверхность на обширной территории (открытый Донбасс). Мощность угленосной формации здесь превышает 6 км при общей мощности карбона до 15 км.

Завершает разрез верхневизейско-нижнепермский СЯ, представленный песчано-глинистой формацией ассельско-сакмарского возраста мощностью до 2,5 км.

В строении Припятского грабена участвуют комплексы как плитной, так и рифтогенной стадий. К первым относятся формации от среднего девона до среднефранского подъяруса верхнего девона включительно, а ко второму – от верхнефранского до нижневизеского подъяруса. К плитной стадии относится терригенно-карбонатный, преимущественно доломитовый комплекс мощностью 370 м. Дорифтогенный разрез северо-западной части Днепровского грабена, выделяемый в объеме живетского яруса, сложен терригенным комплексом.

Для Припятского грабена отчетливо выделяются два ряда рифтогенных формаций, отвечающих двум циклам рифтогенеза и двум фазам магматизма, начавшимся одного в среднефранское и другого в среднефаменское время. Проявления магматизма наиболее широко выражены в восточной части Припятского грабена.

В Донецкой части рассматриваемой структуры средне и верхнедевонские осадочные и вулканогенные формации известны в его южной прибортовой зоне [Геологическое ... , т. 1, 1985]. С верхнепалеозойско-нижнетриасовым СЯ связано формирование Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) – структуры, образовавшейся в пострифтовый этап над девонским рифтом. Разрез ДДВ представлен в основном угленосным карбонатно-терригенным комплексом, в котором преобладают паралические угленосные формации поздневизейского, серпуховского и среднекаменноугольного возраста (мощность до 2–2,5 км), разделенные глинистыми, песчано-глинистыми и глинисто-известняковыми формациями преимущественно морского генезиса. Вышележащая пермско-триасовая часть СЯ представлена карбонатно-терригенным сульфатоносным и соленосным комплексами. В их составе преобладают галогенные и терригенные нижнепермские формации. Завершают строение разреза данного СЯ молассовые формации нижнего–среднего триаса суммарной мощностью более 1000 м.

Вал Карпинского. Вопрос о глубинном строении, тектонической природе этой структуры и ее соотношении со Скифской плитой до сих пор остается дискуссионным [Геология ... , 2006; ГГК, L-38 ... , 2011]. Вместе с тем, новые материалы геофизических (главным образом сейсмических) исследований свидетельствуют о том, что Донецко-Мангышлакская (Донбасс и вал Карпинского) складчатая система по типу глубинного строения отличается от прилежащих к ней как древней ВЕП, так и молодой Скифско-Туранской плиты, характеризуясь линейной структурой, положительным гравитационным полем и слабодифференцированным отрицательным магнитным полем.

С севера вал Карпинского ограничен зоной Астраханских, а с юга – Манычских разломов. Имея сложное блоково-ступенчатое строение фундамента вследствие развития продольных субширотных и субмеридиональных разломов, эта часть линеамента заполнена палеозойскими и мезозойскими осадочными породами.

Нижняя часть осадочной толщи от девона до нижней перми включительно, где главную роль играют породы среднего и верхнего карбона, имеет мощность до 10 км и более. На ней с перерывом залегают мезокайнозойские отложения мощностью до 2 км и более. На юго-востоке структуры вала Карпинского уходят под Каспийское море, сохраняя на всем этом протяжении оси важнейших складок Донбасса: Главной, Северной и Южной антиклиналей. Так, на продолжении оси Главной антиклинали расположены Куберлинское, Цубукское, Олейниковское и Промысловское поднятия, а вдоль оси Северной антиклинали находятся Котельниковская, Зимовниковская и другие локальные структуры, а на оси Главной синклинали расположена Гашунская впадина. Прослеживается, кроме этого, еще одна группа поднятий, соответствующая Южной антиклинали Донбасса.

Области тектоно-магматической активизации. В пределах ВЕП наиболее ярко проявилась палеозойская автономная тектоно-магматическая активизация. Она выражена прежде всего во внедрении многочисленных мантийных интрузий широкого спектра составов, от агпитовых нефелиновых сиенитов до кимберлитов. На северо-западе ВЕП эти магматические комплексы могут быть объединены в две области – Кольско-Беломорскую и Архангельскую [История ... , 1981; Геология ... , 2006].

В центре Кольско-Беломорской области располагаются Хибинский и Ловозерский массивы (возраст по Rb-Sr методу – 358 ± 31 и по Sm-Nd методу – 362 ± 91 млн лет) и многочисленные интрузии щелочных– ультраосновных пород – трубки взрыва Терского берега Кольского полуострова.

В центральной части Архангельской области располагаются кимберлиты, в том числе промышленно алмазоносные. К северу (Мельское поле) отмечены силлы кимберлитов, а к югу трубки слабоалмазоносных мелилититов Ижмозерское и Ненокское поля, а к востоку – трубки взрыва палеозойских толеитовых базальтов (Турьинское, Полтинское поля). Зимнебережное поле кимберлитов располагается в узле пересечения древних, подновленных в палеозое разломов субмеридионального, северо-западного и северо-восточного направлений.

Тектоно-магматическая активизация Русской плиты приходится на раннегерцинский этап, но в большей степени на его начальную стадию. Проявлена она чаще всего в зонах реанимированных глубинных разломов древнего заложения. Вулканизм, как правило, основного состава представлен пластовыми телами базальтов, а также эксплозивными породами различного состава мощностью, редко превышающей 150–200 м. Такие проявления вулканизма установлены в Солигаличском авлакогене (лавы базальтов раннедевонского возраста). На Волго-Уральской антеклизе, в Кировско-Кажимском авлакогене известны эксплозивные обломки базальтовых порфиритов мощностью 29 м, лавовые покровы андезитовых порфиритов мощностью 100–160 м. В зоне глубинных разломов Татарского свода установлены излияния андезитовой магмы раннефранского возраста мощностью до 50 м. Признаки проявления эндогенных процессов фиксируются и в разрезе осадочного чехла северо-запада Московской синеклизы [Енгальчев, 2013б].

Значительно слабее на ВЕП проявлен рифейский этапа активизации (лампроиты Костомукшского и Кандалакшского районов Карело-Кольского региона), а также туффзиты в пределах рифейских авлакогенов и впадин [Казак, Якобсон, 1999].

2.3. Минералогия осадочного чехла

С осадочным чехлом ВЕП связан разнообразный комплекс полезных ископаемых. Здесь располагаются крупные месторождения углеводородов, горючих сланцев, углей, битумов, торфа, фосфоритов, титан-циркониевых россыпей, солей, янтаря и др. [История развития ... , 1981; Геологическое строение..., 1989; Старицкий, Кочкин, Янова, 1996; Карта рудоносных..., 2000; Геология ..., 2006].

Характеризуя полезные ископаемые осадочного чехла платформы, нельзя оставить без внимания области щитов и кристаллических массивов, которые представляли собой области сноса для расположенных вблизи них разновозрастных осадочных бассейнов.

На территории Балтийского щита известны крупные месторождения железа (Оленегорское, Костомукшское), цветных металлов (Печенга и Мончегорская группа медно-никелевых месторождений), благородных и редких металлов (Ловозерская и Хибинская группа месторождений), и широкого круга неметаллических полезных ископаемых (апатит-нефелиновых руд и др.) и строительных материалов. В Карелии известны проявления молибдена (Лобаш), в составе руд которых установлен рений [Недра ..., 2003]. На территории Воронежского кристаллического массива в нижнепротерозойских метаморфических комплексах (курская серия) расположен крупный железорудный бассейн – Курская магнитная аномалия. Южнее, на Украинском щите в нижнепротерозойских метаморфических комплексах (криворожская серия) расположен Криворожский железорудный бассейн с железными рудами формации железистых кварцитов.

В осадочном чехле платформы расположены две крупные *нефтегазоносные провинции*: Волго-Уральская, Прикаспийская и ряд областей – Балтийская, Днепровско-Донецкая и др.

Волго-Уральская нефтегазоносная провинция площадью 700 тыс. км² насчитывает около 1000 месторождений, которые приурочены к пяти комплексам: терригенно-карбонатному (D₂), карбонатному (D₃–C₁), терригенному (C₁), карбонатному (C₂–P₁), карбонатно-глинисто-сульфатно-соленосному (C₃–P₂). Нефтепроявления отмечены также в породах рифей-вендского возраста. Продуктивные горизонты залегают на глубинах от 500 до 5000 м. Залежи углеводородов в основном пластовые и сводовые, литологически экранированные. Глубина залегания – 0,5–5 км и более. Нефти главным образом парафинового типа, средней и высокой плотности (820–890 кг/м³), сернистые (0,5–3,0 %), смолистые. Свободные газы нижнепермских отложений метановые, сернистые (до 5,5 %), с низким содержанием азота.

Наиболее известные и крупные месторождения провинции: Ромашкинское, Новоелховское, Арланское, Шкаповское, Туймазинское, Ярино-Каменноложское, Бавлинское, Мухановское, Покровское, Кулешовское, Соколовогорское, Бобровское, Осиновское,

Чутырско-Киенгопское (нефтяные); Оренбургское, Коробковское, Степновское (газовые и газоконденсатные).

Прикаспийская нефтегазоносная провинция площадью 500 тыс. км² насчитывает около 100 месторождений. В ней выделены две группы нефтегазоносных отложений – подсолённая и надсолённая. Первая группа представлена терригенным (D–C₁), карбонатным (D₃–C₁), карбонатным (C₁–C₂), терригенным (C₂–P); а вторая группа – терригенным (P₂–T) и карбонатно-терригенным (J–K) комплексами. Глубины залегания продуктивных пластов колеблются от 300 до 3300 м.

Балтийская нефтеносная область содержит 37 месторождений нефти, которые сосредоточены в Куршском нефтеносном районе. Наиболее крупные месторождения – Кравцовское (расположено на шельфе) и Красноборское – относятся к средним по запасам месторождениям, остальные – к малым. Продуктивными на нефть являются терригенные образования дейменской свиты среднего кембрия. Залежи нефти приурочены к локальным антиклинальным поднятиям и расположены на глубинах от –1500 м (месторождение Ново-Серебрянское) до –2500 м (месторождение Ладушкинское).

Днепровско-Донецкая нефтегазоносная область располагается в пределах Днепровско-Донецкой впадины. Выявлено 45 продуктивных горизонтов. Глубина залегания нефти – до 4,5 км, газа – 5–5,8 км. Нефть – высокого качества, включает лёгкие фракции, малосернистая. Газ метановый. Всего открыто 121 месторождение, из них 17 нефтяных и 37 нефтегазовых (крупнейшие: Гнединцевское, Леляковское, Качановское, Рыбальское, Радченковское, Прилуцкое), 67 газовых и газоконденсатных (Шебелинское и Ефремовское) [Нефтегазоперспективные ..., 2002].

Нефтегазоносность *центральной части ВЕП* изучается, начиная с 1930-х годов, однако, окончательного ответа о степени перспективах территории не получено. В Московской синеклизе, к перспективным на нефть и газ уровням разреза, относится: вендско-нижнекембрийский, среднекембрийско-силурийский и девонский интервалы разреза, что подтверждается кратковременными притоками нефти с водой в районе г. Ярославль на Даниловской и Нейской площадях и газа на Ледичковской площади [Нефтегазаносность ..., 1997].

На рассматриваемой территории располагается ряд крупных угленосных бассейнов: Подмосковский, Донецкий, Камский, содержащих многочисленные месторождения угля. Промышленное значение имеют угли Донецкого бассейна.

Подмосковский угольный бассейн расположен в центральной части ВЕП. Здесь в угленосной толще нижнего карбона насчитывается до 20–30 пластов. Они сосредоточены в радаевском, бобриковском и тульском горизонтах. Мощность рабочих пластов составляет от

1,4–2,0 до 6,5–12 м. Угли относятся к средне-высокозольным (12–40 %), многосернистым (5–8 %).

Донецкий угольный бассейн приурочен к Днепровско-Донецкому авлакогену. Угленосными являются терригенные отложения среднего карбона. До глубины в 1,8 км общие запасы кондиционных углей оценены в 109 млрд. т. Запасы промышленных категорий составляют 57,5 млрд. т, их которых на долю антрацита приходится 24 %, газовых углей – 48 %, коксующихся углей – 17 %, тощих углей – 11 %.

Камский угольный бассейн располагается в юго-восточной части платформы и тяготеет к Камско-Кинельской системе прогибов и Вятско-Сулеевской, Новобрайкинской и Улеминской котловинам. В угленосной толще (бобриковский и тульский горизонты) мощностью до 200 м содержится от 2–3 до 5–8 пластов рабочей мощности от 0,2 до 10 м. Угли относятся к средне-высокозольным (до 20–40 %), преимущественно многосернистым (3,8 %), с низшей и высшей удельной теплотой сгорания. Угольные пласты залегают на большой глубине (свыше 1500 м).

На территории Калининградской области, на Прибалтийской угленосной площади, для удовлетворения местных нужд разрабатывается малое Грачевское месторождение углей неогенового возраста.

Территория ВЕП обладает значительными по запасам месторождения *горючих сланцев*, которые являются комплексным органоминеральным сырьем, пригодным для энергетического и химико-технологического использования. В тектоническом отношении бассейны горючих сланцев тяготеют к синеклизам и склонам антеклиз.

На северо-западе Русской плиты располагается Прибалтийский сланцевый бассейн, с горючими сланцами – кукерситами среднего ордовика (Ленинградское и Чудово-Бабинское месторождения; первое ранее отработывалось).

В восточных районах ВЕП выделяется Волжско-Печорская сланценосная провинция позднеюрского возраста, имеющая субмеридиональную ориентировку. В ее пределах выделяется ряд районов (с севера на юг): Большеземельский и Ижемский (на территории Тимано-Печорской плиты), Яренгский, Сысольский, Волжский сланцевый бассейн. В состав последнего входят Свяжско-Сурская, Ульяновская, Общесыртовская, Озинковская, Приуральская группа месторождений. Общие ресурсы горючих сланцев региона достигают 67,11 млрд т. Промышленные пласты горючих сланцев имеют мощность 0,5–1,5 м, а их количество в пределах бассейна изменяется от 1–2 до 6–9.

В регионе широко развиты *торфяники*. Прогнозные ресурсы европейской части России – 31,5 млрд т, а разведанные и предварительно оцененные запасы составляют – 17,14 млрд т. Мощность залежей составляет от 2–3 до 5–7 м и несколько более. Торф рассматривается не столько как топливо, а как комплексное органическое сырье, пригодное для получения ценных

продуктов биохимической переработки, производства органических удобрений и других материалов.

В осадочном чехле ВЕП выявлены *железные руды*, связанные с девонскими латеритными корами выветривания, развитыми по докембрийским железистым кварцитам. Руды этого типа размещаются в пределах КМА. Содержание железа в богатых рудах – 50–64 %. В этом районе располагаются месторождения Гостищевское, Ольховатское, Висловское, Разуменское, Соловьевское, Мелихово-Щебекинское, Олимпийское, Болынетроицкое и др. Наиболее крупное – Яковлевское. Большая часть месторождений – бокситожелезорудные.

На территории ВЕП известны немногочисленные проявления карбонатных руд *марганца* осадочного происхождения, которые приурочены к юрским отложениям в Пешской впадине.

Наиболее значительные марганцевые объекты известны на территории Южно-Украинского (Никопольского) марганцеворудного бассейна (месторождения Никопольское, Большой Токмак и др.). Продуктивными являются олигоценовые морские песчано-алевритоглинистые отложения, в которых залегают 2–3-метровые пласты осадочных марганцевых руд. Запасы марганцевых руд бассейна составляют 2,5 млрд т.

В южной части ВЕП известны многочисленные *Ti*, *Ti-Zr палеороссыпи* различного возраста (юра (бат), мел, палеоген, неоген, квартал). Рудные минералы ильменит, рутил и лейкоксен. Наиболее перспективна Белгородская зона (россыпные поля Бутовское, Истобнянское, Борисовское и Высоконовское) палеороссыпей шириной 20–30 км, протянувшаяся в субширотном направлении на 120 км. Продуктивная толща представлена тонко-мелкозернистыми песками. Мощность рудного пласта – 1–15 м.

Цветные металлы. В среднем течении р. Онега известны проявления *никеля*, приуроченные к маломощной коре выветривания основных и ультраосновных пород фундамента Ветреного Пояса (Серский и Талицкий массивы базит-ультрабазитовых интрузий).

В чехле ВЕП известны разновозрастные проявления *свинцово-цинковых руд*. Наиболее значимые из них располагаются на территории Воронежской антеклизы (район Валуйки – Марково), где оруденение, расположенное на глубине 200–450 м, прослеживается на 150 км при ширине 30–10 км. Оруденение прожилково-вкрапленное, жильное приурочено к доломитизированным и окремненным известнякам серпуховского и башкирского ярусов и представлены галенитом и сфалеритом, реже присутствуют антимонит, киноварь, арсенопирит. Размещение оруденения имеет контроль со стороны разрывных нарушений и, предположительно, связано с циркуляцией метеорных вод по разломам. Мощность рудоносных зон – до 60 м, в отдельных зонах – до 2 м. Содержание полезных металлов низкое: цинка 0,1–0,4, свинца до 0,02 %, в отдельных скважинах цинка до 5–8, свинца более 0,3 %.

В Калининградской области в верхней части разреза силурийских отложений установлено несколько проявлений цветных металлов – Добринское (Pb-Zn), Чернышевское (Cu-Zn) и др. [ГГК N-34..., 2011].

На территории ВЕП известны стратиформные проявления *меди*, в медистых песчаниках и сланцах. Они широко распространены в Приуралье и в северной части Складчатого Донбасса. В Приуралье они приурочены к верхнепермским континентальным отложениям уфимского, казанского и татарского ярусов. Оруденение представлено вкрапленностью и конкрециями халькозина, реже халькопирита, борнита и др. Содержание меди – 0,7–1,1 %. В некоторых проявлениях в рудах имеется примесь серебра, платины и золота [Геология твердых..., 1999; Геология ..., 2006]. Меденосность отмечается и в пермских отложениях (цехштейн) Калининградской области [Загородных, 2000].

В осадочном чехле ВЕП установлены месторождения *бокситов* (осадочные и остаточные латеритные). На северо-западе Русской плиты располагаются три района развития бокситов – Онежский, Тихвинский, Подмосковный. Бокситоносные отложения приурочены к нижнему подъярису визейского яруса карбона (бобриковскому горизонту). Мощность отложений – до 100 м. Бокситы присутствуют в виде линз мощностью в среднем 2,5–3,0 м, с содержаниями глинозема до 45 % и кремневым модулем 2,1–27,4. По минеральному составу руды относятся к гиббсит-бемит-каолининовому типу. Содержание Al_2O_3 – от 37 до 77 %. В Онежском районе известен ряд месторождений: Иксинское, Плесецкое, Дениславское.

В Белгородской области на юго-восточном склоне Воронежского массива развиты элювиальные девонские и раннекарбоновые бокситы (месторождения Висловское, Мелихово-Шебекинское, Олимпийское, Ольховатское и др.). Содержание Al_2O_3 – 30–52, SiO_2 8–10 %. Большая глубина залегания (180–400–750 м) препятствует эксплуатации руд. Залежи, как правило, имеют лентовидную или четковидную форму и вытянуты на несколько километров при ширине в сотни метров. По минеральному составу среди бокситов выделяют шамозит-бемитовые (преобладают), каолинит-шамозит-бемитовые, каолинит-гиббситовые, шамозит-гиббситовые, шамозит-гиббсит-бемитовые.

Молибден установлен в составе эпигенетического Re-Mo-U оруденения в девонских отложениях западной части Псковской (Печорское проявление) и центральной части Новгородской области (Ловатское проявление и др.) [Недра..., 2003; Енгальчев, Панова, 2008; Енгальчев, 2012б,в]. Молибден присутствует в составе уран-полиэлементного оруденения в виде иордизита и ильземаннита, а его содержание в рудах составляет 0,82–1,41–2,12 %. Также Mo присутствует в рудах Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского и Бельского месторождений Подмосковного бассейна.

В пределах ВЕП выделяется несколько зон с *целестиновой (стронциевой) минерализацией* различного возраста. На территории Тульской, Рязанской, Калужской и Смоленской областей оруденение приурочено к фаменским сульфатно-карбонатным отложениям (озерская свита D_{3oz}) на глубинах от 0 до 125 м. Рудный горизонт имеет мощность 0,5–50 м, а содержание целестина – 5–15, реже до 50 % (месторождение Табольское) [Карта рудоносных..., 2000]. По данным [Левченко, Тигунов, Усова, 2006] запасы Табольского месторождения кат. С₂ – 1,6 млн т, ресурсы 35,5 млн т. Кроме целестина в рудах присутствуют кальцит, золото, серебро, галенит, сфалерит, арсенопирит, пирит, флюорит, стронцианит, халцедон, кварц и битумы [ГГК N-37, (38)..., 1999; Пекин, 1999; ГГК N-37..., 2015].

Уран. В южном Приладожье располагаются месторождения урана полигенного типа, приуроченные к базальным горизонтам венда (Рябиновское, Ратницкое, Славянское). Здесь же в диктионемовых сланцах нижнего ордовика выявлено несколько непромышленных месторождений урана [Михайлов, Чернов, Кушнеренко, 2006; Михайлов и др., 2015].

В центральной части ВЕП в пределах Подмосковного бассейна выявлены два малых урановых (Re-Mo-U) месторождения – Брикетно-Желтухинское и Бельское, а также многочисленные проявления и пункты урановой минерализации, приуроченные к аллювиальным палеодолинам в угленосных отложениях визейского яруса [Игнатов и др., 1999]. На сравнительно детально изученном Брикетно-Желтухинском месторождении площади рудных тел составляют от 10 000 до 30 000 м² при мощности от 0,7 до 1,6 м и содержании урана от 0,03 до 0,27 %. Помимо урана в рудных телах определены повышенные содержания Мо, V, Рb.

На востоке Русской плиты в области широкого развития пермских отложений выделяется Верхнекамская урановорудная зона с эпигенетическими урановыми объектами палеодолинного типа. Здесь расположены Виноградовское, Черепановское месторождения и ряд проявлений. Урановые объекты приурочены к внутрiformационным палеодолинам [Халезов, 1997б; Месторождения ... , 2009].

На периферии Волго-Уральской нефтегазоносной провинции располагается уран-битумное оруденение Жигулёвского потенциально ураноносного района, эталонным объектом которого является Репьевское месторождение [Тюленева и др., 1996; Уран..., 2010]. Оно находится в западной части Жигулёвского вала в районе г. Сызрань. Оруденение локализуется кавернозных доломитизированных известняках репьевского горизонта гжельского яруса верхнего карбона. Рудные залежи имеют пластообразную форму, залегают согласно, имеют линзовидную форму. Параметры залежей: протяженность – от 3,3 до 5 км, ширина 0,2–1,7 км и мощность от 1 до 16 м. Глубина размещения рудных залежей от 40 до 120 м. Содержания

урана – от 0,019 до 0,397 %. Помимо урана в рудах установлены повышенные содержания V, Ni, Mo, Ag, Cu, Co, Zn, As и Re.

В пределах вала Карпинского на территории Калмыкии и Ростовской области располагаются органогенно-фосфатные уран-редкометалльные месторождения и проявления Ергенинского урановорудного района приуроченные к отложениям майкопской серии ($P_3^3-N_1^1$) (верхний олигоцен – нижний миоцен). Общие оцененные запасы урана в данном районе составляют 59 тыс. т (19 тыс. т учтены Госбалансом), фосфора – 8400 тыс. т, редких земель – 260 тыс. т. В промышленных масштабах присутствуют Sc, редкие земли, Re. Наиболее изученными являются неглубоко залегающие месторождения, пригодные для открытой отработки и скважинной гидродобычи: Шаргадык-Богородское рудное поле, северо-восточная часть Багабурульского рудного поля.

В этом районе располагается эпигенетическое гидрогенное Балковское месторождение урана, приуроченное к системе эрозионных врезов палео-Дона, заложенных по тектоническим нарушениям в майкопских отложениях. Рудоконтролирующие зоны грунтово-пластового окисления установлены в продуктивных песках нижней (загистинской) и средней (балковской) свит. Выявлено пять рудных залежей протяженностью от 0,6 до 5 км при ширине 100–200 м, редко до 500–700 м со средним содержанием урана 0,014–0,027 % на среднюю мощность 1–3,43 м [Расулова, Тарханова, Каминов, 2008].

Благородные металлы. В восточном Донбассе в отложениях среднего карбона известны проявления золота жильного типа (Керчикское и Чернореченское проявления) [Карта рудоносных ... , 2000]. Выявлен ряд зон протяженностью 160–1100 м при ширине 50–70 м. Содержание Au неравномерное – от сотых долей до 180 г/т, в среднем для Керчикского проявления – 3,6 г/т.

Россыпные проявления золота установлены в осадочном чехле различных районов ВЕП. Они известны в бассейне р. Кама в современных и среднеюрских аллювиальных отложениях [Золото ... , 2003], и на юго-востоке Воронежской антиклизы. Здесь золотая минерализация установлена в крупнозернистых песках верхнего палеоцена (сумская серия). На россыпи Русская Журавка в прибрежно-морских отложениях палеогена, представленных галечниками и кварц-глауконитовыми песками, установлено содержание Au до 2,8 г/т (преобладает 0,02–0,1) [Савко и др., 2000; Савко, Шевырёв, 2006].

Минерализация золота известна в коре выветривания докембрийских пород Воронежского массива: в богатых железных рудах, бокситах, аллитах.

Проявления россыпного золота известны на востоке Уфимского амфитеатра, где современные аллювиальные отложения и грубозернистые пески и гравелиты нижней перми (сакмарский, артинский ярусы) содержат 0,1–0,7 г/т золота и платины.

В осадочном чехле ВЕП сосредоточены значительные запасы *фосфоритов*, относящихся к четырем рудным типам – желваковому, пластовому, ракушняковому и песчаниковому. Наиболее распространен желваковый тип. Руды представляют собой стяжения, конкреции или замещенные фосфатом раковины, которые могут образовывать сплошную фосфоритовую «плиту». Фосфоритоносные породы этого типа широко распространены в Московской, Брянской, Нижегородской областях, Мордовской АССР, Оренбургской области, Прикаспии, в бассейне р. Печора). Мощность рудоносных горизонтов – от долей до нескольких метров, содержание P_2O_5 в породе – от 5–6 до 10–14, в концентратах до 30 %. Ракушняковые фосфориты нижнего ордовика распространены на северо-западе Русской плиты. Содержание P_2O_5 в рудах до 35–37 %. Рудные тела имеют неправильную, чаще линзовидную форму, мощность – 1,3–11 м. Наиболее крупным является месторождение Кингисеппское.

В центральной и восточной частях чехла ВЕП установлена минерализация *флюорита* (ратовкита). В центральных районах она приурочена к каширскому горизонту верхнего карбона, прослежена на расстояние более 700 км вдоль юго-западной и южной окраин Московской синеклизы. Генезис оруденения до конца не ясен, есть представления, что оно образовалось в результате насыщения морских вод фтором из глубинного источника и последующего отложения ратовкита в осадках [Геологи и пол.иск., 2006].

Месторождения и проявления подземных вод, обогащенных *бромом и йодом*, связаны с районами развития ископаемых солей, соленых озер, а также с нефтегазоносными бассейнами. Крупные месторождения брома известны южнее г. Великий Новгород, в районе г. Пермь, к югу от г. Саратов, на северо-западном берегу Каспия, в верхнем течении р. Урал, в Калининградской области и в прилегающих районах Литвы [Карта рудоносных ... , 2000].

В центральной части ВЕП известны многочисленные проявления и месторождения *йодо-бромных вод*. Здесь располагается Московский гидрогеотермальный бассейн, в центральной части которого (в районе Солигаличского авлакогена) температура подземных вод на глубине 3,8 км составляет более 100 °С [Карта топливно-энергетических..., 2008]. Области с повышенным температурным фоном подземных вод в пределах ВЕП приурочены к авлакогенам.

Месторождения и проявления *серы* в осадочном чехле ВЕП представлены двумя типами – самородной и газовой серой. Самородная сера приурочена к областям совместного развития сульфатных и карбонатных пород и соленосным бассейнам. Газовая сера в настоящее время добывается на Астраханском газовом месторождении.

Драгоценные и поделочные камни. На побережье Балтийского моря располагаются палеороссыпи янтаря в эоценовых отложениях (алкская и прусская свиты). Они представлены

глауконитсодержащими песками, глинистыми, с фосфоритовыми стяжениями. Известно крупное Пальменикенское месторождение янтаря.

На платформе выявлено значительное количество залежей *каменной и калийной соли* девонского, раннепермского, позднепермского, юрского и неогенового возраста. Здесь находятся значительные участки крупнейших соленосных бассейнов – Предуральского и Прикаспийского, а также восточное окончание Средне-Европейского бассейна. Месторождения минеральных солей относятся к трем рудным формациям: галитовой, карналлит-сильвиновой, лангбейнит-каинитовой, представленным хлоридами и сульфатами натрия и калия. Залежи солей приурочены к крупным осадочным бассейнам и к областям развития глубинных разломов [Карта рудоносных ... , 2000]. Кроме каменной соли, эксплуатируются также самосадочные месторождения Эльтон, Баскунчак и др. в Прикаспийской впадине. Суммарные ресурсы солей европейской России составляют 5×10^8 млн т, в том числе калийных солей около 2 млрд т [Геология ..., 2006].

В регионе крупные месторождения подземных вод находятся в пределах, следующих артезианский бассейнов – *Прикаспийского, Прибалтийского, Печорского, Московского, Волго-Камского*.

В чехле ВЕП расположено большое количество общераспространенных полезных ископаемых (песчано-гравийные смеси, галечники, известняки, мергели, мел, щебень), используемых в качестве строительных материалов.

ГЛАВА 3. РЕНИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

3.1. Изученность региона на рений

До конца 70^{ых} годов прошлого века сведения о рении в осадочных породах региона, и остальных территорий России ограничивались несколькими, а часто и единичными анализами различного качества по редким скважинам, обнажениям или же единичными пробами типовых разновидностей пород или руд: углях западной части Донбасса, углеродистых сланцах, медистых песчаниках и сланцах, углях, битумах и нефтях [Юровский, 1968; Поплавко и др., 1974, 1977, 1978 и др.]. Такая ситуация сложилась из-за отсутствия в течение значительного времени оборудования для получения массовых качественных аналитических данных.

Только в последнее десятилетие было получены новые представительные аналитические материалы по рениеносности нескольких рудных объектов, приуроченных к осадочному чехлу региона, что связано с выполнением геологоразведочных работ, ориентированных на рений. Совершенствование аналитического оборудования и методик определения Re дало возможность проведения массовых анализов с низким порогом обнаружения. В это время были оценены на рений два урановых месторождения в центральной части Восточно-Европейской платформы – Бельское и Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U месторождения, а также диктионемовые сланцы нижнего ордовика, развитые на северо-западе Русской плиты (детально исследована Кайболово-Гостилицкая площадь). На рений как попутный компонент были исследованы органогенно-фосфатные урано-редкометалльные месторождения вала Карпинского на территории Калмыкии.

На северо-западе Русской плиты с середины 90^{ых} годов изучается рениеносность углеродистых диктионемовых сланцев нижнего ордовика. В 1990-х годах были получены первые сведения о наличии в составе диктионемовых сланцев Ленинградской области и Северной Эстонии 0,1–0,5 г/т рения (Re определен кинетическим методом) [Поплавко, 1993; Введение ..., 1997]. На территории Эстонии содержание рения в диктионемовых сланцах составляют, по одним данным, 0,11 г/т [Наумов, 2006], а по другим – от < 0,020 до 0,119 г/т [Батулин, Ильин, 2013]. В 2008–2012 гг. проведены работы по исследованию естественных обнажений диктионемовых сланцев в полосе Балтийско-Ладожского глинта на Re и редкие элементы. Было установлено, что содержание от 0,005 до 3,2 г/т [Вялов, Миронов, Нежинский, 2010; Енгальчев, 2013а].

В 2012–2014 гг. в результате геологоразведочных работ, выполненных ФГБУ «Институт Карпинского» на западе Ленинградской области на Кайболово-Гостилицкой площади,

ориентированных на изучение рениеносности диктионемовых углеродистых сланцев («Поисковые работы на рений в диктионемовых сланцах и фосфоритах Прибалтийского бассейна на Кайболово-Гостилицкой площади с оценкой прогнозных ресурсов рения по категориям P₂-P₁»), был получен значительный объем аналитических данных (бороздвое опробование керна скважин – 670 проб) по содержанию Re, U, Mo, V и других элементов [Вялов и др., 2013; Вялов и др., 2014ф; Вялов, Ларичев, Балахонова, 2013; Балахонова, 2014]. В ходе работ было проведено бурение 96 скважин (5200 п. м, расстояние между скважинами по профилю составляет 1,00–2,25 км, между профилями – 2,0–4,5 км, выход керна – 80 %).

В 2010–2012 гг. автором выявлен Re (0,89–3,94 г/т) на Печорском Re-Mo-U проявлении в Псковской области [Енгальчев, 2011е; 2012в], в углеродистых аргиллитах силура (гривинская свита) – 0,043 г/т и породах саснавской свиты перми Калининградской области (0,2–1 г/т).

С 60^{ых} годов XX века в угленосных отложениях бобриковского и тульского горизонтов нижнего карбона Подмосковского бурогоугольного бассейна были известны урановые месторождения Бельское [Островская, 1968], и Брикетно-Желтухинское. На новом этапе исследований в начале 2000^{ых} годов была определена их рениеносность.

В 2003–2006 гг., в процессе выполнения прогнозно-поисковых работ на урановое сырье в восточной части Московского угольного бассейна (листы N-37-XV, XVI, XXII) (отв. исп. А. А. Новгородцев, О. В. Алтунин) коллективом Центральной филиал «Горно-геологическая экспедиция» ФГУГП «Урангео» было выявлено рениевое оруденение, ассоциированное с урановым [Новгородцев и др., 2005ф]. В ходе работ ореолы повышенных содержаний Re были прослежены несколькими буровыми профилями от южной границы выклинивания рудовмещающих отложений нижнего карбона в долине р. Верда до Северо-Алексеевского проявления, расположенного приблизительно в 20 км от г. Рязань. Самые мощные ореолы Re, содержащие промышленные концентрации, были вскрыты в центральной части Брикетно-Желтухинского месторождения. Повышенные содержания рения были выявлены в урановых рудах Алексеевского проявления, расположенного севернее Брикетно-Желтухинского месторождения. Можно полагать, что и другие проявления урана этого района являются перспективными на Re, однако, они до сих пор не опробованы.

В 2009–2012 гг. ИМГРЭ были проведены геологоразведочные работы по изучению рениевого оруденения на Бельском месторождении [Трач и др., 2012ф]. Наличие такового было подтверждено бурением пяти скважин. Установлено, что при средних содержаниях Re в «рениевых» интервалах разреза составляют 0,3–5,7 г/т в единичных пробах до 30 г/т. [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011].

В 2011 г. специалисты ИМРГЭ в пределах Подмосковского бассейна, ориентируясь на рениеносность нижнекаменноугольного уровня разреза, выделили девять потенциально

перспективных на рений площадей, с ресурсной оценкой на Re территории бассейна определяется на уровне 2500 т. [Трач, Бескин, 2011].

В 2013–2015 гг. ИМГРЭ были проведены детальные геологоразведочные работы на Re-Mo-U Брикетно-Желтухинском месторождении, ориентированные не только на изучение объекта, но и на определение технологии извлечения рения [Карась и др., 2015ф; Карась и др., 2016]. В составе руд установлены повышенные концентрации U, Mo, Se, Ag.

В 70^{ых} годах прошлого века содержания Re были установлены в верхнеюрских (волжских) углеродистых сланцах Волжского сланцевого бассейна и составляют 0,04–0,15 г/т [Поплавко и др., 1978; Поплавко, 1993; Введение ... , 1997]. В последнее десятилетие были получены новые данные по содержанию Re и его элементов-спутников в углеродистых сланцах ряда крупных месторождений горючих сланцев региона [Самойлов и др., 2015; 2017; Илясов, Староверов, Илясов, 2024], а также стратотипического разреза «Городищи», расположенного севернее г. Ульяновск [Енгальчев, 2019в].

В литературе приводятся сведения о наличии повышенных содержаний рения в нефтях и битумах региона. Так, по данным [Поплавко и др., 1974], эти значения могут достигать 0,2 г/т. На ряде тяжелых нефтей месторождений (Лангуевская и Ашальчинская площади, Мордово-Кармальское месторождение) южной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции установлены концентрации Re 0,017–0,1 г/т [Торикова, Кудинов, Ключарев, 2005; Металлургия рения, 2007; Трошкина и др., 2011], а также установлена рениевая специализация нефтей данной провинции [Готтих, Писоцкий, Журавлев, 2008].

В 2013 г. были получены первые данные по металлоносности горючих сланцев Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев Яренгского сланцевого района [Игнатьев, Иванова, 2013; Салдин и др., 2013]. Содержания рения составили до 0,32 г/т. Каменный материал (кern разведочных скважин) был получен в ходе геологоразведочных работ на данном месторождении в 2009–2011 гг.

В 2014–2017 гг. автором с использованием современного аналитического оборудования были выявлены относительно высокие содержания рения (до 0,42 г/т) в медистых песчаниках ряда типовых разрезов Татарстана, в сланцах Сысольского сланцевого района (до 0,11 г/т), Чим-Лоптюгского месторождения горючих сланцев Яренгского сланцевого района (до 0,29 г/т), в горючих сланцах верхней юры разреза «Городищи» (до 0,148 г/т) и в рудах Репьевского уран-битумного месторождения (до 6,8 г/т).

В 1990-е годы получены сведения о содержании Re (0,01–0,7 г/т) в товарных углях и продуктах их переработки различных шахт Восточного Донбасса [Жаров и др., 1996; Таранушич, 2003].

Расположенные в Южных Ергенях (республика Калмыкия) уникальные по своему вещественному составу и строению органогенно-фосфатные ураново-редкометалльные месторождения в породах майкопской серии первоначально рассматривались как сырье на уран, а позднее – как комплексное сырье на уран, фосфор и редкоземельные металлы [Шарков, 2008]. В конце 1990-х годов специалистами ФГБУ «ВИМС» и ГП «Кольцовгеология» были получены первые сведения о содержании Re в рудах этих объектов [Столяров, Ивлева, 2008]. Установлено, что они составляют от 0,2–1,4 г/т до 3,98 г/т и характерны для сульфидного типа руд. Позднее, в 2011–2013 гг., ГП «Кольцовгеология» при участии ФГБУ «ВИМС» и АО «ВНИИХТ» были проведены геологоразведочные работы, направленные на геолого-технологическую оценку этих месторождений [Тюленева и др., 2013; Тюленева и др., 2014].

Автором в 2014 г. получены новые данные по содержанию Re (до 1,34 г/т, в среднем – 0,01–0,04 г/т) в рудах Балковского уранового месторождения Калмыкии.

Ограниченное количество анализов на Re, выполненных в разные годы на различном оборудовании, и неравномерность распределения по площади в значительной степени осложняют прогнозно-металлогенический анализ. Однако уже сейчас определены характерные типы пород и руд, а также благоприятные геологические обстановки рениевого оруденения.

Пока сведения о распределении рения получены только по породах развитым в приповерхностной зоне (в редких скважинах до 150–200 м), в связи, с чем в дальнейшем при получении новых материалов по содержанию Re в породах более глубоких горизонтов и в составе подземных (в том числе термальных) вод нельзя исключать возможность выявления новых рениевых объектов.

Таким образом, в результате обобщения материалов по изученности осадочного чехла ВЕП на Re установлено, что регион характеризуется слабой и неравномерной изученностью [Енгальчев, 2016; 2019г]. Представительные данные были получены в последнее десятилетие пока только по нескольким объектам (Re-Mo-U Бельское и Брикетно-Желтухинское месторождения; диктионемовые сланцы нижнего ордовика, северо-запад Русской плиты; органогенно-фосфатные уран-редкометалльные месторождения, вал Карпинского) целенаправленно исследованных на Re в рамках геологоразведочных работ.

3.2. Геохимические предпосылки рениености осадочного чехла

В качестве региональных геохимических предпосылок рениености осадочного чехла ВЕП рассматривается рениевая геохимическая специализации углеродистых сланцев (в том числе горючих сланцев), битумов и углей ряда бассейнов.

Геохимическая специализация углеродистых сланцев. Углеродистые сланцы содержат уникальный комплекс редких химических элементов, часть из которых присутствует в повышенных или даже рудных концентрациях. Кларк Re в черных сланцах составляет 0,3–0,8 г/т, что на 6 порядков превышает его кларк в осадочных породах. Рений, обладающий органофильными свойствами, является характерным элементом углеродистых сланцев [Юдович, Кетрис, 1994], и горючих сланцев [Шпирт, Пунанова, 2009].

Углеродистые сланцы (в том числе горючие) развитые территории ВЕП на имеют различный возраст (S_{1–2}, O₁, D₃, J_{2–3}, K₁), обогащены C_{орг} и обладают комплексной металлоносностью (V, Mo, U, Cu, Re, Cd, Se, Ag и др.) [Рифовые ... , 2015].

Ценная информация по геохимической специализации этих пород в различных бассейнах, расположенных на территории ВЕП и соседних областей приводится в работе [Карта угленосности ... , 1996]. В таблице 3.1 она приводится в виде «формулы», где цифра перед символом элемента обозначает кларк концентрации. Отчетливо заметно, что рениевую специализацию имеют диктионемовые сланцы, горючие сланцы-кукерситы, углеродистые сланцы Яренгского района и Тимано-Печорского бассейна.

Таблица 3.1 – Формулы геохимической специализации углеродистых сланцев ВЕП и прилегающих районов на территории России [Карта угленосности ... , 1996]

Бассейн (площадь)	Формула геохимической специализации
Восточная (российская) часть Прибалтийского бассейна. Диктионемовые сланцы	350Mo 160Sc 143Re 111Bi 75As 52U 24Cd 13Cu 12V 11Ti 10Ag 10Au 7Pb 6Sb 5Hg 4B 4Co 3Zn 2F 2Sn 2Ni 2Nb
Восточная (российская) часть Прибалтийского бассейна. Кукерситы	1000Re 160Sc 14Ag 11Mo 5Hg 4Pb 4B 3Zn 2Sn
Волжский бассейн	200Se 150Mo 22Ag 12Ge 10Bi 8B 3Pb 2V 2Ti 2Hg
Сысольский бассейн	104Mo 69Cd 25As 7V 7Zn 4Ag 3Cu 3Ni 3Co 3P 2Cr 2Ba
Яренгский бассейн	112Re 101Cd 66Mo 27As 12Zn 7V 5Ag 5Ni 4Cu 3P 2Ba 2Cr 2Sr
Ухтинская сланценосная площадь	133Bi 128Ag 36Sb 17Mo 9As 3U 2Ba 2Sc
Тимано-Печорский бассейн	165 Re 150Bi 50Mo 12U 7B 3Ag 3Pb 2Sn 2Ti 2V 2Zn 2Hg
Южно-Приуральская сланценосная площадь	7V 6Ni 2Cu

Геохимическая специализация углей. Изучению проблемы распространенности элементов-примесей в углях посвящена обширная литература [Клер, Ненахова, 1981; Введение ... , 1997; Шпирт, Пунанова, 2009; и др.], однако данные о Re весьма ограничены и относятся к углям Донецкого угольного бассейна и некоторым месторождениям Средней Азии, в частности, к Ангренскому месторождению. В углях этих месторождений содержания Re составляют 0,09–4 г/т [Кузнецова, Сауков, 1961; Металлогения и геохимия ... , 1987]. Известны повышенные содержания Re в товарных углях о. Сахалин (0,005–0,07 г/т, угли верхнедуйской

свиты Южного Сахалина – до 0,39 г/т) и в углях, добывающихся на шахтах в Ленском угленосном бассейне (0,3–0,4 г/т) [Жаров и др., 1996; Данченко, Рыбин, 2002]. Известно, что рений в углях часто ассоциирует с Au и Se [Клер, Ненахова, 1981].

По данным [Металлогения и геохимия..., 1987] в осадочных породах и средних содержаниях молибдена в углях среднее содержание рения в углях следует принять за 0,06 г/т, однако эти содержания справедливы при условии, если соотношение Re/Mo составляет 1/50, реже 1/10 (для углей, богатых рением и молибденом).

В углях Re ассоциирует с сульфидами (может входить в их состав), присутствует в металлоорганических соединениях или в сорбированном виде в органическом веществе.

Ценная информация по рениеносности углей приводится в работе [Карта угленосности..., 1996]. В ней дана геохимическая специализация углей различных бассейнов, расположенных на территории ВЕП и соседних областей (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Формулы геохимической специализации углей ВЕП и прилегающих районов на территории России [Карта угленосности..., 1996]

Название бассейна / площади	Формула геохимической специализации
Подмосковный бассейн	2400 U 11Zn 9Ag 6Pb 4Ge 4Sc 3Be 3Nb 2Ti 2Zr 2Sn 2Mo
Юго-восточная часть Донецкого бассейна	3614Hg 1142Re 588As 200Sb 115B 111Ge 40U 24W 15Mo 10Cl 10Br 10Pb 8Ge 7Be 6P 6Ag 5Zn 2Ga 2Bi 2Cu 2Sn
Белгородско-Обоянская угленосная площадь	9Ge 8Y 2 Mo
Кубано-Лабинская группа месторождений	5Ag 3Mo 2Pb 2V
Кубано-Баксанский угольный район	8Ag 7Mo 6Ge 6Pb 3Ga 2Be 2Sn 2V 2Zn 2Ni 2Ti 2Zr 2Sc
Печорский бассейн	27Mo 21As 6Be 4U 4Zr 3Zn 3Th 3La 2P
Камская угленосная площадь	21Be 8Mo 7Sc 3Ge 3Ti 3Nb 2Pb
Южно-Уральский бассейн	376U 10Cr 9Ag 4V 3Cu
Оргский бассейн (северная часть)	8W 7Ge 2Ni 2Mo

Установлено, что угли Восточного Донбасса по сравнению с другими бассейнами характеризуются Hg-Re-As-Sb специализацией.

Геохимическая специализация нефтей и битумов. Каустобиолиты концентраты целого ряда микроэлементов [Введение..., 1997; Якуцени, 2005; Шпирт, Пунанова, 2009; и др.], а многие месторождения тяжелых нефтей и битумов обогащены V, Ni, Re, Mo, Se, U, Sb, As, Au, Cd и другими редкими и рассеянными элементами [Якуцени, 2005].

В связи с проблемой металлоносности нефтей было проведено опробование нефтей России и привлечены данные по зарубежным месторождениям [Гольдберг, 1990]. Среди изученных месторождений нефтегазоносных бассейнов СССР и зарубежных стран выделяются

три типа: ванадиевый и никелево-ванадиевый; никелевый и ванадий-никелевый; цинковый. Рений характерен только для ванадиевого и никелево-ванадиевого типа (Таблица 3.3), в котором определяются наиболее высокие суммарные содержания редких элементов (преобладают V, Ni, Co, Cr, Mo и др.), связанные с асфальтово-смолистыми фракциями. В ассоциации с V и Ni в надкларковых концентрациях установлены Re, Mo, Se, As, Au, Sb, реже Cd, Hg, Ag. Концентрация этих элементов достигает (г/т): 75–1000 Re; 2,5–91 Mo; 12–130 Au; 1,5–20 Sb; 2–12 Cd; 1–10 As. По устойчиво максимальным значениям Кк выделяются три основные ассоциации: Re-V-Ni-Mo, Mo-V-Ni, V-Ni.

Таблица 3.3 – Металлогеническая ассоциация ванадиевого и никелево-ванадиевого типа нефти и основные провинции [Гольдберг, 1990]

Доминирующие редкие элементы по абсолютной концентрации	Металлогенические ассоциации (в порядке убывания значения Кк)		Основные провинции (возраст отложений, содержащих металлоносные нефти и /или битумы)
	основные	второстепенные	
V; V-Ni	Re, V, Ni, Mo	Zn, Pb, Cu, Au, As, Sb, Se, Co, Cr	Волго-Уральская (D ₃ ; C ₁ ; C ₂ ; P); Сурхан-Вахшская (K; J ₃ ; P ₁); Адриатическая (N ₁)
	Mo, V, Ni	Se, As, Au, Sb, Z, Co, Cr	Маракайбская (P ₂ , N ₁); Восточно-Венесуэльская (K; P ₃ -N); Западно-Канадская (K ₁); Лено-Анабарская (R-V)
	V, Ni	Mo, Zn, Sb, Au, Ag, As, Sb, Hg, Cd, Co, Cr	Тимано-Печорская (D ₃ ; C-P; T); Прикаспийская (C; P ₁ ; T; J ₂ -K ₁); Месопотамская (J ₃ ; K; N)

Первые массовые данные о наличии Re в нефтях европейской части России и других территорий СССР приводятся в работе [Поплавко и др., 1974]. Содержание Re колеблется от < 0,005 до 0,2 г/т, что превышает его кларк более чем в 100 раз. В легких парафинистых нефтях содержание Re обычно достигает 0,05–0,12 г/т, тогда как в тяжелых асфальтосмолистых обычно не превышает 0,01 г/т. Наиболее высокие содержания установлены в легких парафинистых углеводородах цепочечного строения (озокериты, байкериты, гильсониты). Минимальные значения в продуктах переработки окисленных измененных нефтей (асфальтитах, керитах, окскеритах). Намечается обратная зависимость содержания рения и кислорода в твердых битумах. Интересно, что аномально высокие значения Re фиксируются в битумах вблизи тектонически измененных зон (зоны дробления) и на участках проявления рудной минерализации, что может быть связано с фиксацией рения из рассолов и вод на битумах.

Новые аналитические данные [Готтих, Писоцкий, Журавлев, 2008] свидетельствуют о накоплении рения в смолисто-асфальтеновых компонентах нефти Волго-Уральской провинции по сравнению с Днепровско-Донецкой, Тимано-Печорской, Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской нефтегазоносными провинциями (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Средние содержания (ppb) рения и ряда химических элементов в смолисто-асфальтеновых компонентах нефти различных нефтегазоносных провинций [Готтих, Писоцкий, Журавлев, 2008]

Элемент	Волго-Уральская	Днепроовско-Донецкая	Тимано-Печорская	Западно-Сибирская	Восточно-Сибирская
Re	51,9	4,5	5,4	3,1	3,4
Mo	1600	45,6	315,8	58	171
V	227600	28370	61635	26190	6109
U	16	3	12	4,2	3,2
Se	400		1000		
Cu	31283	6105	51804	15180	11974
Ni	72016	19027	56170	23328	14890
Ga	157,4	26,3	100,7	14,4	17,7
As	250	-	-	-	
Ag	322	17000	630	65	330
Sc	102	300	166	103	130
Ti	5243	9724	3241	3545	2643
Cr	10835	5985	18380	13207	12883
Mn	1728	955	1435	2965	724
Fe	109582	150480	259947	54276	141825
Co	207	87	208	101	67
Zn	49720	16183	43747	72282	106534
Rb	79,3	35,2	62,5	76	37,3
Sr	2850	6657	1425	2270	1033
Y	16,9	11,1	21,7	20,2	8,3
Zr	352	1275	378	328	634
Nb	13,5	2,7	9,9	8,3	
Pd	3,34	4,25	2,53	2,55	0,87
Cd	180	46	403	46,5	129
Sb	80	7200	15400	-	
Te	160	-	-	-	-
Cs	2,3	0,6	1,9	5,7	1,2
Ba	2084	4147	5600	4423	2578
Сумма REE	170	136	182	180	96
Hf	8,3	31,6	6	7	3,5
Ta	1		0,6	-	0,7
W	61,6	20	176	80	82
Hg	2300	247000	700	84,4	
Tl	1,7	1,6	2,1	1,9	1,4
Pb	2009	1130	4758	16530	2248
Bi	133	17,1	100	29	30,5
Th	5,2	15	6	6,2	3,3
Pt	0,49	18	1,41	0,53	0,54
Au	98,4		60	7,1	102

Примечание: суммаREE - сумма редкоземельных элементов. Жирным шрифтом выделены максимальные средние значения элементов в данных выборках.

Установлено, что повышенные содержания рения характерны для тяжелых фракций углеводородов, различных по составу битумов Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Высоковязкие битумы ряда месторождений Южно-Татарского свода (Лангуевская площадь, Ашальчинская площадь, Мордово-Кармальское месторождение) содержат рений до 0,1 г/т [Торикова, Кудинов, Ключарев, 2005; Metallургия рения, 2007].

Таким образом, в осадочном чехле ВЕП выделяются углеродистые сланцы, угли и высоковязкие битумы, имеющие «рениевую специализацию» по сравнению с образованиями других платформ, что в сочетании с другими признаками может указывать на «зараженность» рением осадочного чехла региона, и с известной долей условности, указывать на перспективность региона на рений.

3.3. Характеристика ренийсодержащих рудных формаций

3.3.1. Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах

Формация приурочена к битуминозным углеродистым сланцам нижнего палеозоя северо-западных районов ВЕП. Она установлена в диктионемовых сланцах нижнего ордовика, развитых в пределах Прибалтийско-Ладожской моноклинали России (Ленинградская область) [Поплавко и др., 1978; Вялов и др., 2013; Енгальчев, 2019г; Благородные ..., 2022], и Эстонии [Наумов, 2006; Hade, Soesoo, 2014], а также в углеродистых сланцах (кембрий-ордовик) Южной Швеции совместно [Andersson et al., 1985] и углеродистых сланцах силура Балтийской синеклизы на территории Калининградской области [Енгальчев, 2019г].

Диктионемовые сланцы. Они исследованы в многочисленных разрезах по рекам Сясь, Волхов, Саблинка, Тосна, Поповка, Ижора, Копорка, Ламошка в полосе Балтийско-Ладожского глины (Рисунок 3.1, 3.2, 3.3).

Диктионемовые битуминозные сланцы прослеживаются на значительные расстояния в виде полосы протянувшейся из южного Приладожья до западных районов Эстонии. Такая форма области их распространения определяется литолого-фациальными особенностями бассейна и малоамплитудными поднятиями, ограничивающими сланцевый бассейн с юга [Ершова, Федоров, 2006; Ершова, 2008].

Район территориально приурочен к Балтийско-Мезенской зоне [Колодяжный, Терехов, Балугев, 2020] тектонических нарушений которая прослеживается от Балтийского моря до реки Мезень и связана со сдвиговыми смещениями в породах фундамента, которые реализуются в виде малоамплитудных разрывов, систем диагональных складок и надвигов, сопряженных с субгоризонтальными срывами в отложениях чехла. Предполагается, что развитие зоны началось в палеопротерозое (2,15 млрд лет) и продолжалось вплоть до новейшего этапа.

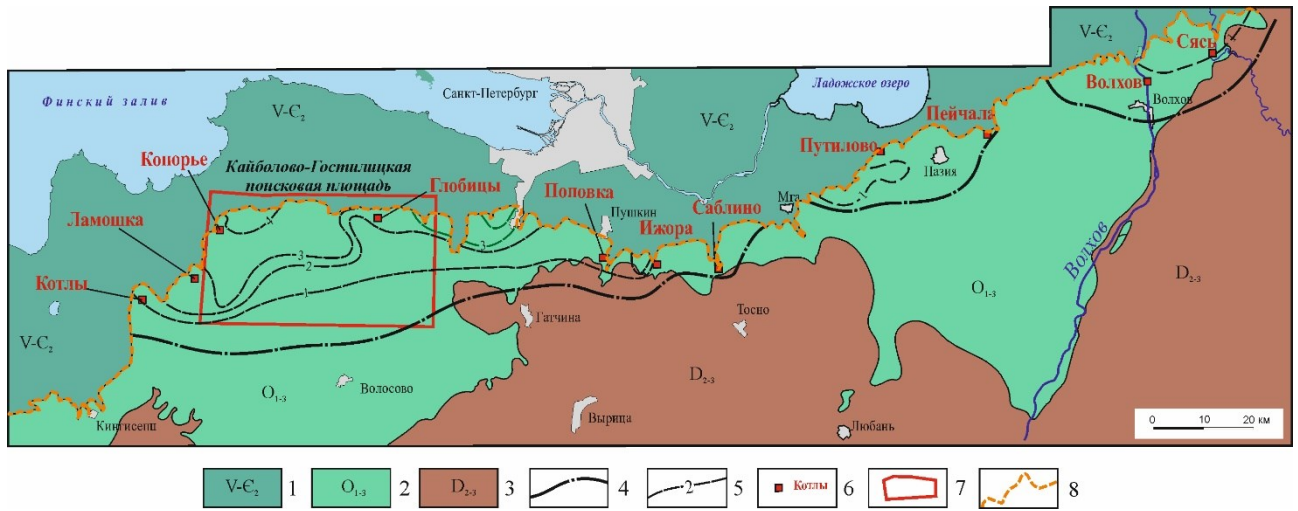


Рисунок 3.1. Размещение изученных разрезов диктионемовых углеродистых сланцев в восточной части Прибалтийского бассейна

1 – венд-кембрийские отложения; 2 – ордовикские отложения; 3 – средне-верхнедевонские отложения; 4 – южная граница выклинивания диктионемовых сланцев; 5 – изопахиты диктионемовых сланцев, м; 6 – опробованные обнажения и их названия; 7 – границы Кайболово-Гостилицкой площади; 8 – Балтийско-Ладожский глинт.

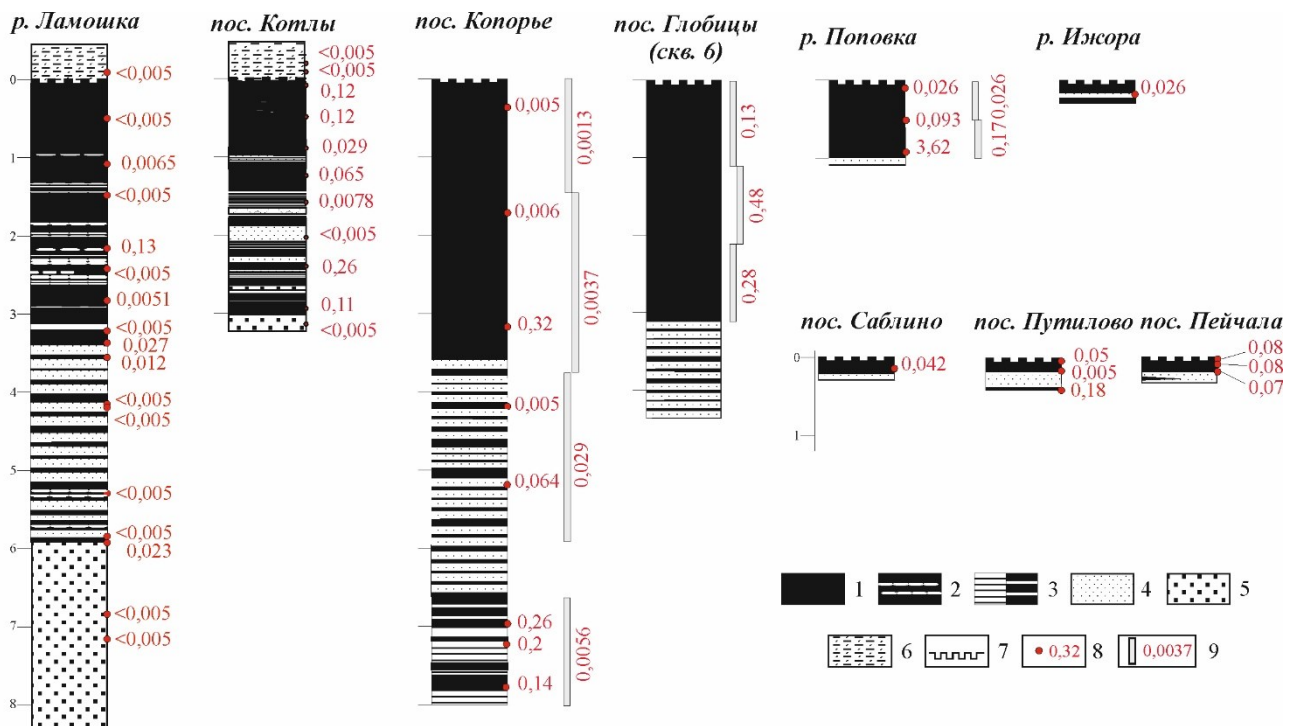


Рисунок 3.2. Содержание рения в диктионемовых углеродистых сланцах в полосе Балтийско-Ладожского глинта. (авторские данные и [Вялов и др., 2014ф])

1 – углеродистые диктионемовые сланцы; 2 – прослои спикюлитов в сланцах; 3 – переслаивание сланцев и тонкозернистых песчаников; 4 – песчаники тонкозернистые; 5 – песчаники мелко-среднезернистые оболочевые; 6 – песчаники глауконитовые глинистые, 7 – несогласное залегание; 8 – содержание рения в штупфных пробах (г/т); 9 – содержание рения в бороздовых пробах (г/т).

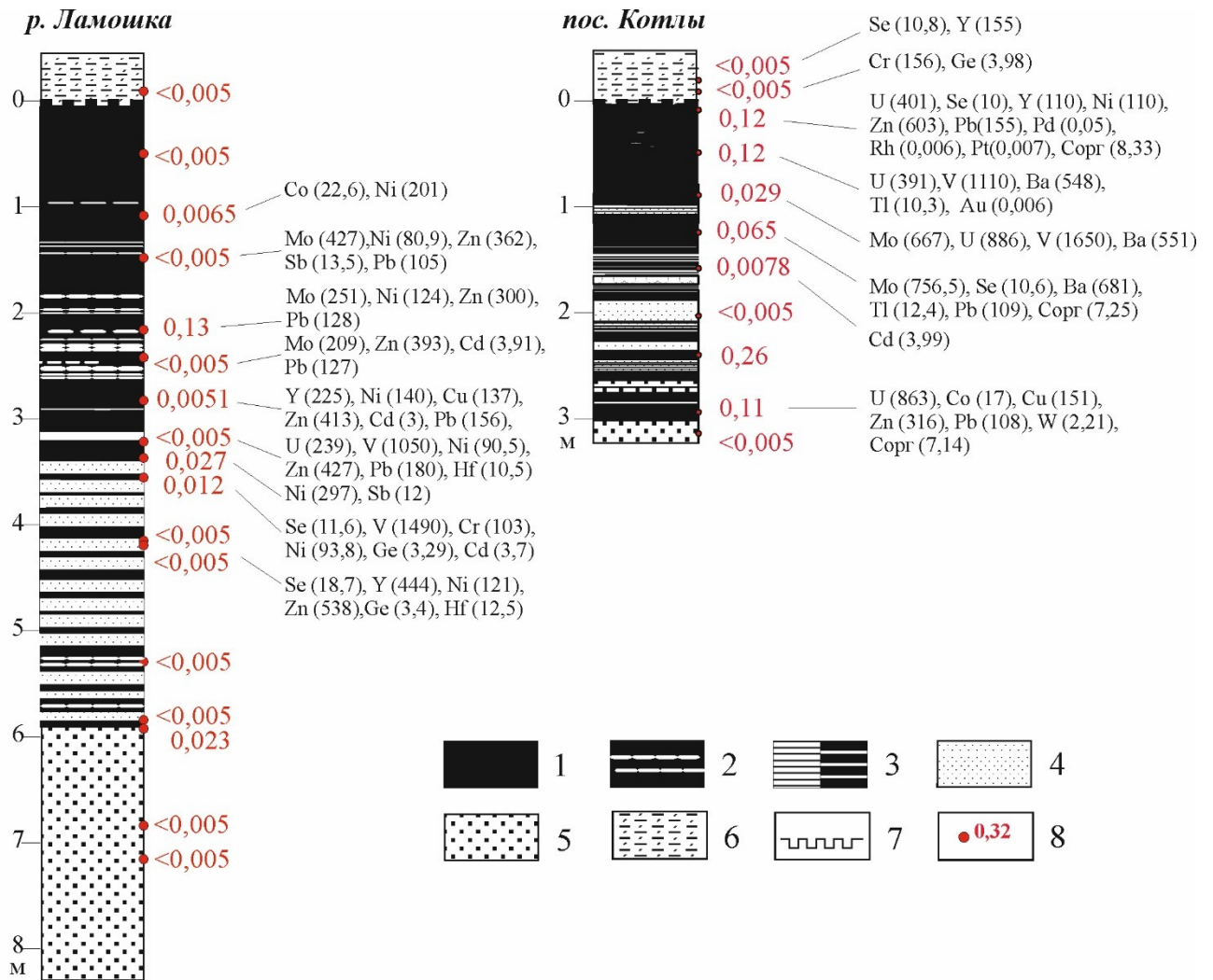


Рисунок 3.3. Разрезы диктионемовых сланцев по р. Ламошка и у пос. Котлы с содержаниями рения и других элементов

1 – черные углеродистые диктионемовые сланцы; 2 – прослои спикулитов в сланцах; 3 – переслаивание сланцев и тонкозернистых песчаников; 4 – песчаники тонкозернистые; 5 – песчаники мелко-среднезернистые оболочевые; 6 – песчаники глауконитовые глинистые; 7 – несогласное залегание; 8 – содержание рения в штучных пробах (г/т).

По литологическому составу в толще диктионемовых сланцев выделяется нижняя пачка – «пачка переслаивания» и верхняя пачка – «собственно диктионемовых сланцев».

Нижняя пачка сложена чередованием темно-коричневых, почти черных аргиллитов, и серых, иногда бурых, алевролитов и мелкозернистых песчаников с редким детритом раковин оболочек. Мощность прослоев алевролитов и песчаников составляет от 0,5 до 2 см, мощность сланцев – от 1–3 мм до первых десятков см. Встречаются прослои белых спикулитов мощностью 0,5–2 см. В породах, слагающих пачку переслаивания (преимущественно в ее верхней части), фиксируются радиально-лучистые антраконитовые конкреции. Цемент карбонатный и сульфидный (пиритовый). Эта пачка имеет ограниченное распространение и развита преимущественно на западе Ленинградской области. Увеличение мощности пачки от 0,0 до 2,6 м отмечается с востока на запад.

Верхняя пачка имеет более широкое распространение, чем подстилающая пачка переслаивания. Она представлена микро- и горизонтально-слоистыми аргиллитами, окрашенными в черный цвет. Иногда аргиллиты имеют темно коричневый оттенок. В диктионемовых сланцах присутствуют тонкие прослои алевролитов и примесь алевритового материала, часто с примесью спикул губок и их обломками, толщиной от 0,1 и до 5 мм, к контактам которых приурочена вкрапленность сульфидов. По всему разрезу пачки наблюдаются прослои, обогащенные вкрапленниками и гнездами сульфидов. В нижней части пачки появляются тонкие прослои алевролита. Мощность верхней пачки составляет от 0,5 до 4,0 м и уменьшается с запада на восток и с севера на юг.

В структурно-вещественном отношении, диктионемовые сланцы состоят из глинистого материала (основная часть), органического вещества, алевро-песчаного материала и различных по составу конкреций (карбонатные, сульфидные – пирит, марказит, сфалерит, реже кремнистые и фосфатные). В сланцах также присутствует полевошпатовая «пирокластика», которая поступала в бассейн седиментации с вулканическими пеплами [Юдович, Кетрис, 2010].

В сланцах широко развита пиритизация, образующая обособления различной форм: прослои пирита или цепочки пиритовых конкреций эллипсоидной или караваеобразной формы. Линзовидная пиритизация характерна для верхней части пласта сланцев, а тонкая вкрапленность встречается по всему разрезу. В целом содержание пирита и марказита в диктионемовых сланцах составляет 8–10 мас. %, значительно реже присутствует галенит, сфалерит и молибденит.

В диктионемовых сланцах доля органического вещества (керогена) составляет 4–20 % (в среднем 10–15 %) [Михайлов, Чернов, Кушнеренко, 2006], при этом его часть представлена остатками граптолитов. По данным работ, на Кайболово-Гостилицкой площади [Вялов и др., 2013; Вялов, Ларичев, Балахонова, 2013; Михайлов и др., 2015] были проведены массовые определения зольности углеродистых сланцев, которая в значительной степени соотносится с содержанием в породах органического вещества ($C_{орг}$). Средняя зольность по 625 пробам составила от 79,1 до 99,5 % (среднее 87,37 %), а содержание $C_{орг}$ – от 0,5 до 20,9 % (среднее 12,62 %). По данным кулонометрии, для серии проб с этой площади содержание серы ($S_{общ}$) в сланцах составляет от 0,37 до 8,45 % (среднее 2,78 %).

Диктионемовые сланцы формировались в условиях эпиконтинентального мелководного морского седиментационного бассейна, а область отложения представляла собой широкий залив [Мяннель, 1966]. На состав осадков и их мощность оказывали влияние расстояние от береговой линии, сила течений, рельеф дна и другие факторы.

Увеличение мощности сланцев в северном направлении свидетельствует о том, что осевая часть бассейна седиментации, имеющего субширотное положение, располагалась севернее

современной границы распространения сланцев в центральной части Финского залива. Северным берегом бассейна являлась суша, находившаяся в это время в южной части Балтийского щита, и являвшаяся основным источником обломочного материала [Мяннель, 1966]. Ордовикский седиментационный бассейн имел субширотную ориентировку и на западе сообщалась с более глубоководным бассейном, находившемся на территории, занятой сейчас северными районами Балтийского моря [Мяннель, 1966]. В скважинах южной части Ботнического залива (Finngundet, Vastra Banken) установлены одновозрастные черносланцевые отложения мощностью около 1 м [Thorslund, Jaanusson, 1960; Thorslund, Axberg, 1979], что может свидетельствовать о продолжении раннеордовикского бассейна в северо-западном направлении.

При формировании сланцев происходило массовое захоронение планктонных организмов, что способствовало созданию резко восстановительной среды и сероводородного заражения иловых вод палеобассейна, что в свою очередь являлось геохимическим барьером для накопления повышенных концентраций металлов.

В 1940-е годы на западе Ленинградской области, в полосе Балтийско-Ладожского глина в толще сланцев были выявлены непромышленные месторождения урана – Ранноловское, Котловское, Кайболовское, Куммолловское, Гостилицкое, Красносельское [Уран..., 2010]. Содержание урана в сланцах колеблется от 0,018 до 0,028 % на мощность 1,2–2,2 м. В них выделяется наиболее обогащенная ураном пачка без четких литологических границ с содержанием урана 0,027–0,040 % на мощность 0,5–1,2 м. Максимальные содержания урана отмечаются в неслоистых аргиллитах и составляют 0,117–0,197 % на мощность 0,2 м [Михайлов, Чернов, Кушнеренко, 2006; Госгеолкарта, О-35,36, 2010]. Суммарные ресурсы урана на этих месторождениях (данные ПГО «Невскгеология») оценены по категориям (тыс. т): P_1 – 139,3, P_2 – 217,9, P_3 – 285.

На прилегающей территории Эстонии в районе г. Силламяэ с 1948 по 1952 г. велась разработка диктионемовых сланцев для добычи из них урана. За это время было добыто 2405 тыс. т руды (диктионемовый сланец) со средним содержанием урана 0,036 % [Уран..., 2010]. В 1960-е годы проводились детальные литологические, минералогические и геохимические исследования, направленные на изучение строения, вещественного состава диктионемовых сланцев и условий их формирования [Давыдова, Гольштейн, 1960, 1967; Альтгаузен, Гольштейн, Давыдова, 1967; Альтгаузен, 1992]. Существенный объем данных по строению и составу сланцев был получен в Эстонии [Хейнсалу, 1978; Hints, Hade, Soesoo, Voolma, 2014; Hade, Soesoo, 2014].

Диктионемовые сланцы характеризуются комплексной рудоносностью (U, Mo, V, Re Sc, Cs, Ag) [Вялов, Миронов, Неженский, 2010], обогащены ртутью (в среднем 0,84 г/т) [Халдна,

Ильмоя и др., 1986] и благородными металлами (Pd до 1,1; Pt до 0,065 г/т, Au до 0,43; Ag до 300 г/т) [Олейникова, Шишлов, Фадин, 2015; Фадин, 2018; Благородные ..., 2022].

В 2010–2011 гг. специалистами ФГБУ «Институт Карпинского» (Г. С. Искюль, В. А. Михайлов, В. И. Вялов, Е. Г. Панова) опробованы представительные обнажения диктионемовых сланцев, расположенных вдоль полосы Балтийско-Ладожского глинта (р. Сясь, карьер Путилово, поселки Копорье, Пейчала, Глобицы (скв. 6), р. Поповка, пос. Саблино). Пробы по разрезам у пос. Котлы и по рекам Ламошка, Тосна, Ижора, Поповка и Волхов проанализированы автором (Рисунок 3.2 и 3.3). В разрезах у пос. Котлы и на р. Ламошка на рений опробованы не только сланцы, но и выше- и нижележащие отложения.

На разрезах «Ламошка» и «Котлы» содержания Re от 0,005 до 0,13 г/т фиксируются в прослое собственно диктионемовых сланцев, тогда как в пачке переслаивания, залегающей под сланцами, присутствуют единичные повышенные содержания Re – 0,012–0,26 г/т, приуроченные к тонким прослоям сланцев, переслаивающихся с алевролитами и тонкозернистыми песчаниками (Рисунок 3.3). В оболочках песчаниках и глинистых глауконитовых песчаниках содержание Re составляет < 0,005 г/т. Элементами-спутниками рения в диктионемовых сланцах являются Mo, Ni, Zn, Pb, U, Se, V, Tl, Ba, а в сланцах из пачки переслаивания – U, Se, Sb, V, Ni, Cu (Таблица 3.5).

Средние содержания рения по всем исследованным разрезам Балтийско-Ладожского глинта составляют от 0,01 до 1,54 г/т, а наиболее высокие значения установлены в разрезах рек Поповка (1,54 г/т), Волхов (0,32 г/т) и Глобицы (скв.6) (0,29 г/т) (Таблица 3.5). При этом наиболее высокие содержания приурочены к верхней части разреза диктионемовых сланцев. В области наибольших мощностей сланцев (в пределах российской территории) в разрезе «Копорье» содержание Re составляет 0,14 г/т.

Для определения средних содержаний рения в диктионемовых сланцах автором была выполнена статистическая обработка материалов по Кайболово-Гостилицкой площади. В результате анализа частотного распределения значений было установлено, что выделяется основной пик со значением медианы около 0,1 г/т, и «рудный хвост», представленный небольшим количеством проб с относительно повышенными значениями [Енгальчев, 2019г]. В качестве границы между основной группой значений, отвечающих характерным значениям рения в диктионемовых сланцах, и условно «рудными» значениями определена величина 0,27 г/т.

Таблица 3.5 – Среднее содержание химических элементов в диктионемовых сланцах типовых разрезов в полосе Балтийско-Ладожского глинта, ИСП МС, г/т. Составлено автором по авторским данным и [Вялов и др., 2014ф]. Расположение разрезов показано на рисунке 3.1.

Химический элемент	Копорье		Глобицы	Поповка	Ижора	Саблино	Пейчала	Путилово	Волхов	Сясь	Котлы	Ламошка	Предел обнаружения
	Сланцы	Пачка переслаивания											
	(n = 4)	(n = 5)											
Re	0,14	0,014	0,297	1,538	0,10	0,086	0,075	0,079	0,32	0,076	0,12	0,01	0,005
U	126,3	59,1	135,7	92,1	5,2	203,0	136,4	151,5	106,0	115,5	524,3	130,4	0,1
V	921	532,2	535,3	1178,0	60,9	663,2	806,0	681,5	691,0	881,5	879,7	863	2,5
Mo	79,2	35,6	173,0	306,8	17,0	65,1	73,1	31,7	113,0	120,0	298,2	136,9	0,6
Cu	194	179,26	804,2	142,1	1,93	339,5	303,2	119,5	230	252,5	128,5	117	1
Co	7,5	5,46	37,17	3,0	117,0	17,8	19,7	13,5	14,3	19,4	6,9	7,81	0,5
Ni	98,4	25,92	96,4	111,3	219,0	139,6	78,6	58,9	117	97,7	54,7	97,8	1
Zn	103,8	94,02	171,13	40,48	542,0	32,0	52,8	45,2	177	38,9	193,8	273,4	1
Pb	136	н/д	76,4	69,7	0,56	61,8	60,6	24,5	206	н/д	96,5	80,3	1
Bi	0,26	н/д	0,20	9,2	0,01	8,2	н/д	н/д	7,8	н/д	0,3	0,3	0,1
Cd	0,69	н/д	1,49	23,6	0,16	0,6	н/д	н/д	3,2	н/д	0,4	2,8	0,1
Sb	4,6	0,9	4,9	9,25	4,14	23,9	6,5	4,4	5,2	6,9	8,3	5,8	0,1
Hg	0,3	н/д	н/д	1,45	0,03	1,23	н/д	н/д	0,46	н/д	н/д	н/д	0,015
Se	34,4	н/д	н/д	29,6	20,3	25,5	н/д	н/д	49,5	н/д	7,6	5,9	0,3
Tl	2,51	н/д	6,63	15,0	1,95	1,8	н/д	н/д	3,1	н/д	8,2	2,5	0,1
Sc	13,1	н/д	7,3	10,4	2,6	9,9	10,8	10,8	20,4	9,5	10,4	9,2	0,2
Ge	1,6	1,4	1,3	2,7	2,23	4,595	2,837	3,04	1,85	1,98	2,26	2,07	0,05
Sr	74,7	99,20	51,3	74,5	264,0	162,2	185,5	152,4	371,0	110	107	68,5	1
Ba	182	н/д	292,6	317,6	26,4	428,5	277,3	309,3	530,0	265	505,5	466	3

Из-за полимодального характера распределения данных вся выборка проб была разделена на четыре совокупности по содержанию Re: первая объединяет пробы с содержанием Re менее 0,005 г/т; во второй – от 0,005 до 0,05 г/т; в третьей – от 0,05 до 0,27 г/т, в четвертой («рудные» пробы) – от 0,27 до 1,29 г/т. В таблице 3.6 приводятся значения содержаний рения (среднее, минимальное, максимальное, стандартное отклонение) для рения и ряда других редких химических элементов, установленные для этих четырех групп проб. Предложенный подход к анализу данных позволяет сравнивать содержания химических элементов в пробах с различным уровнем накопления в них Re, что в частности имеет существенное значение для «рудных» (богатых Re) проб, так как его высокие концентрации в пробах, вероятное всего, определяются самостоятельными факторами, отличными от его накопления в породах на «фоновом» уровне. Кроме того, подсчитаны средние содержания по всем проанализированным элементам, с учетом деления на группы по обогащенности рением (Таблица 3.7).

По данным авторской статистической обработке данных бороздового опробования керна, среднее содержание Re в диктионемовых сланцах составляет 0,12 г/т, а вариации от 0,005 до 1,29 г/т.

Так видно из таблицы 3.7. рений в диктионемовых сланцах Кайболово-Гостилицкой площади ассоциирует с U, Mo, Ni, Pb, Co, Cu, Ag, V, Zn, Ba, Se и с $C_{орг}$. При этом, по мере роста средних содержаний рения увеличивается среднее содержание Mo, V, U, Cu, Co, Ni, Pb и Ag.

Анализ имеющихся данных по содержанию рения в пласте диктионемовых сланцев свидетельствует о том, что распределение повышенных концентрации рения имеет явно выраженный стратиформный характер. При этом повышенные (больше средних значений) содержания рения наблюдаются в средней и верхней части пласта, которая сложена массивными неслоистыми битуминозными сланцами, обогащенными относительно остальной части разреза органическим веществом. Распределение рения в пласте связано с органическим веществом (коэффициент корреляции Re с $C_{орг}$ = 0,6 (при $n=20$, $r=0,37$). При этом распределение повышенных (относительно средних значений) содержаний рения в сланцах определяется не только участками, обогащенными органическим веществом, но и количеством рассеянного сульфидного материала. Таким образом, содержание рения в пласте сланцев не связано с его мощностью, а определяется наличием в сланцах органического вещества.

Таблица 3.6 – Содержания рения и ряда химических элементов в пробах с различным содержанием рения, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Интервал содержания рения, г/т											
	менее 0,005 (n = 22)			0,005–0,05 (n = 134)			0,05–0,27 (n = 494)			более 0,27 (n = 20)		
	сред.	мин.– макс.	со	сред.	мин.– макс.	со	сред.	мин.– макс.	со	сред.	мин.– макс.	со
Re	> 0,005	—	—	0,023	0,005–0,048	0,01	0,12	0,051–0,26	0,038	0,502	0,29–1,29	0,27
Mo	2,98	0,3–11,4	1,66	20,22	3,3–116	17,9	194,6	2,28–562	85,94	157,12	3,71–403	129,13
V	26,31	3,39–77,2	11,04	231,78	13,9–938	185,1	881,38	92,9–1600	213,46	660,01	37–1100	397,55
U	14,62	2,21–70,1	7,57	71,62	7,6–338	50,27	185,98	32,6–659	90,04	146,53	44–232	62,5
Cu	33,5	3,37–233	19,61	77,49	6,07–249	43,81	98,88	49–263	26,56	102,92	35,3–160	33,08
Co	4,68	0,55–64,9	3,71	7,84	1,08–56,9	6,23	13,44	1,12–47,8	4,67	19,29	10,3–37,2	6,67
Ni	9,53	1,22–135	5,97	58,74	7,81–512	57,49	152,89	20,9–322	40,68	108,42	17,7–236	65,77
Zn	77,96	2,32–467	62,81	139,08	4,83–4650	513,53	885,18	15,1–12900	1752,32	481,44	12,2–2170	705,93
Сорг	1,26	0,30–3,9	0,7	7,65	1,4–16,9	2,96	14,53	3,8–20,9	2,45	11,34	2,8–17,2	5,42

Примечание: n – количество проб, сред – среднее, мин.– макс. – минимальное – максимальное, со – стандартное отклонение, содержание Сорг в %.

Таблица 3.7 – Средние содержания химических элементов в четырех группах проб, выделенных по содержанию в них рения, Кайболово-Гостилицкой площади, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Интервал по содержанию рения			
	< 0,005 (n = 22)	0,005-0,05 (n = 134)	0,05-0,27 (n = 494)	0,27 -1,29 (n = 20)
Re	<0,005	0,023	0,120	0,502
U	14,62	71,62	185,98	146,53
V	26,31	231,78	881,38	660,01
Mo	2,98	20,22	194,60	157,12
Cu	33,50	77,49	98,88	102,92
Co	4,68	7,84	13,44	19,29
Ni	9,53	58,74	152,89	108,42
Zn	77,96	139,08	885,18	481,44
Pb	16,7	73,76	127,01	нд
Sb	0,33	2,54	7,90	6,37
Ag	0,07	0,69	1,67	2,01
Sc	2,23	5,54	8,92	7,76
Ge	1,67	1,54	1,77	1,59
Sr	нд	77,43	66,61	84,63
Ba	94,00	255,82	365,05	300,30
C _{орг} *	1,26	7,65	14,53	11,34

Примечание: C_{орг}* – высчитанное из зольности, в %, n – количество проб.

2. Углеродистые сланцы силура Балтийской синеклизы. Черные и темно-серые углеродистые сланцы силурийского возраста в составе гривинской, брюсовской, дубовской и ульяновской свиты известны в разрезах ряда глубоких скважин (Северо-Гусевская, Гусевская, Славинская 1, Славская 2, Малиновская) Балтийской синеклизы на территории Калининградской области (Рисунок 3.4). Силурийские отложения региона представлены морскими терригенными и карбонатными глубоководными образованиями [Фации и фауна ... , 1977].

Содержание Re в силурийских сланцах составляет от < 0,005 до 0,15 г/т. Наиболее высокие содержания установлены в черных углеродистых аргиллитах гривинской свиты нижнего силура. Гривинская свита представлена черными углеродистыми граптолитовыми аргиллитами, с редкими прослоями мергелей. По данным исследований в шлифах и на электронном микроскопе, породы содержат примесь алевритового материала и сульфидов (Рисунок 3.5), а также граптолиты и ходы илоедов, замещенные пиритом. Мощность гривинской свиты в регионе не превышает 10 м, на шельфе Балтийского моря – не более 3 м.

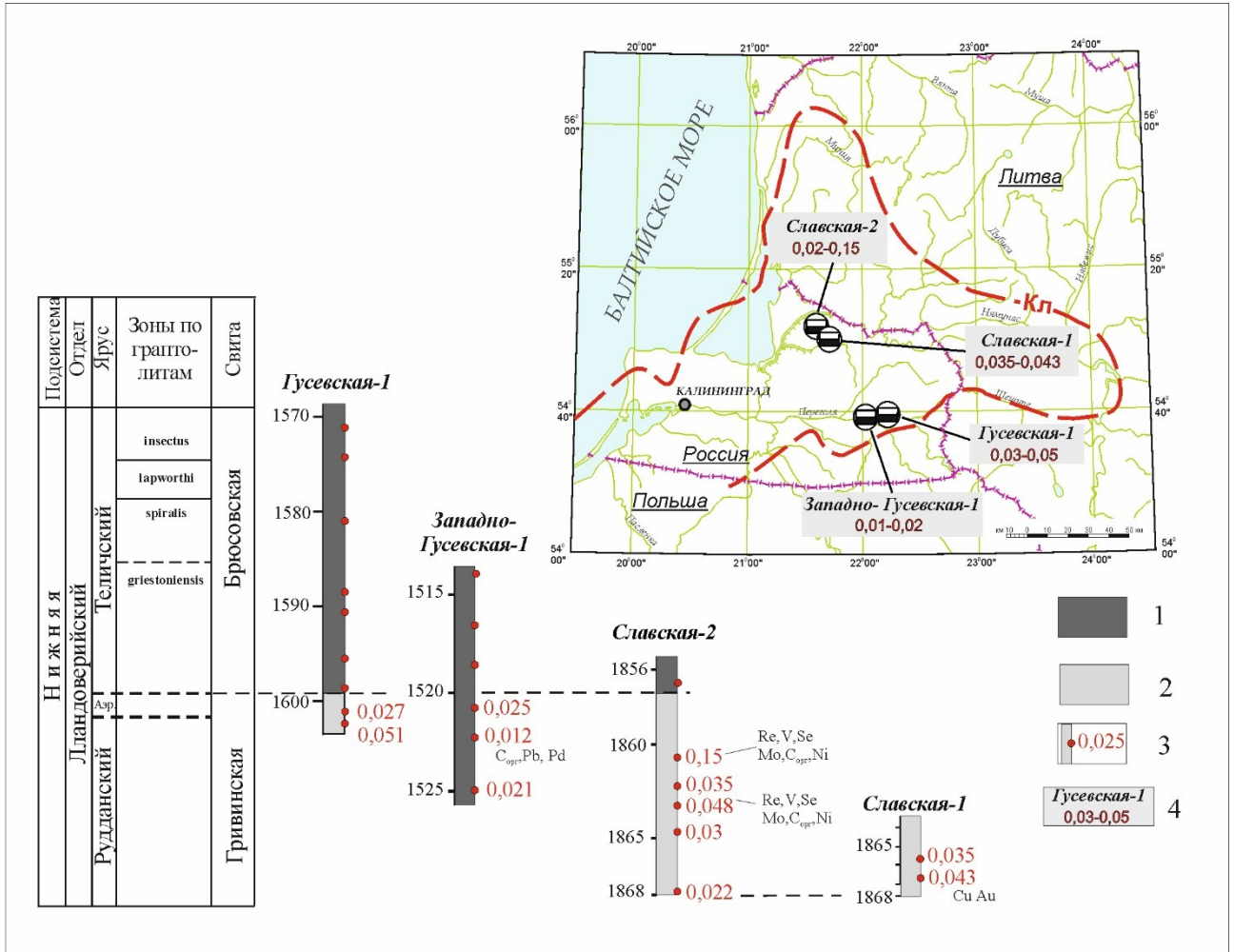


Рисунок 3.4. Схематические разрезы гривинской и брюсовской свит в скважинах на территории Калининградской области

1 – аргиллит черный, темно-серый; 2 – аргиллит черный, темно-серый слабоизвестковистый; 3 – содержание рения (г/т), 4 – опробованная скважина и вариации содержания рения (г/т). Рядом с колонкой – знак химического элемента, установленного в пробе на аномально высоком уровне.

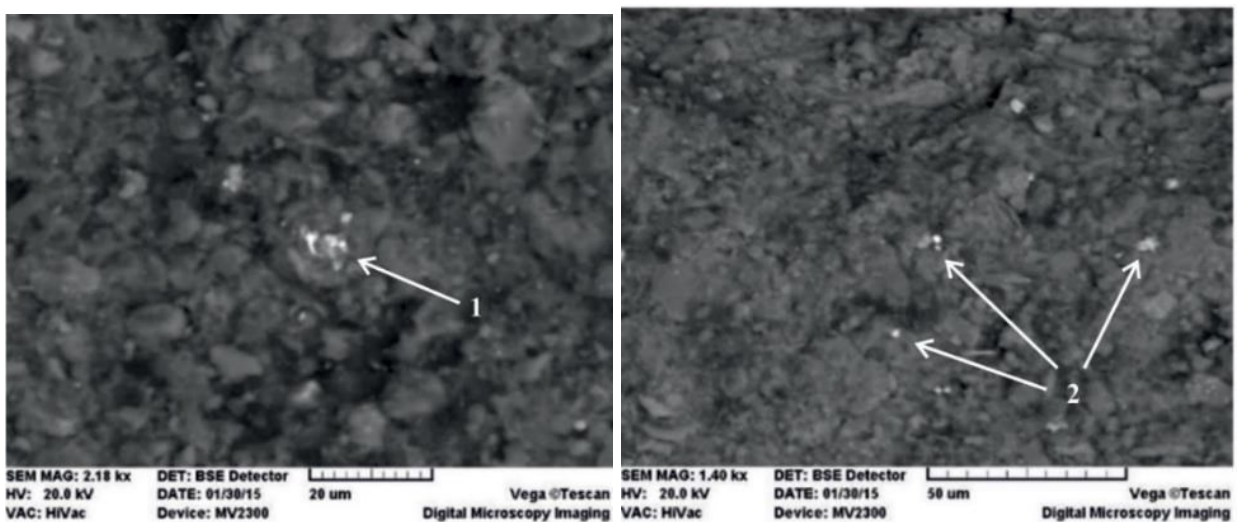


Рисунок 3.5. Микрофотографии сульфидов образца углеродистых сланцев гривинской свиты из скв. «Славская-2». 1 – селенистый галенит с примесью сурьмы; 2 – клаусталит (PbSe)

В связи с накоплением Re в породах, обогащенных органическим веществом, были проведены расчеты по определению средних содержаний химических элементов в породах с различным количеством $C_{орг}$. Были приняты следующие градации пород по степени их обогащенности $C_{орг}$: менее 1 %, 1–3 % и 3–10 % и более 10 % (Таблица 3.8). Максимальное содержание органического вещества в сланцах составляет 14,02 %. В углеродистых сланцах гривинской свиты установлены надкларковые (выше кларка по черным сланцам по [Юдович, Кетрис, 1994]) содержания Mo, V, Co, Ni, Cu, Zr, а также ряда редких элементов. Содержание Re в углеродистых сланцах гривинской свиты составляет в среднем 0,043 г/т (от 0,012 до 0,15 г/т).

Таблица 3.8 – Средние содержания Re и ряда химических элементов в породах гривинской свиты в различной степени обогащенных органическим веществом, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Вся свита (n = 14)	$C_{орг}$, %		Предел обнаружения
		3–10 (n = 11)	более 10 (n = 3)	
Re	0,043	0,035	0,07	0,005
U	17,83	16,08	24,27	0,1
V	334,43	269,18	573,67	2,5
Mo	39,46	24,63	93,83	0,6
Cu	140,61	139,14	146,00	1
Co	24,67	25,46	21,77	0,5
Ni	143,01	131,37	185,67	1
Zn	160,14	159,15	163,77	1
Pb	82,65	98,82	90,03	1
Bi	0,35	0,36	0,35	0,1
Cd	1,07	1,16	0,76	0,1
Sb	5,71	3,99	12,03	0,1
Se	4,59	4,02	6,67	0,3
Tl	1,94	1,79	2,49	0,1
Sc	14,50	14,76	13,53	0,2
Ge	1,59	1,62	1,44	0,1
Sr	149,09	151,75	139,33	1
Ba	302,36	313,18	262,67	3
$C_{орг}$, %	8,50	7,43	12,42	0,03

По полученным данным были установлены высокие значимые положительные корреляционные связи Re с V (0,86) (в скобках значение величины коэффициента корреляции; $r = 0,514$, $n = 14$) Ni (0,80), Mo (0,68), $C_{орг}$ (0,65), Tl (0,61), Se (0,57), U (0,55), а также отрицательные связи с Ba (–0,53).

Таким образом, ренийсодержащая формация Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах в осадочном чехле ВЕП характеризуется содержаниями рения на уровне

0,12 г/т, рений находится в ассоциации с U, V, Mo, Sorг и сульфидами. В размещении данной ренийсодержащей формации четко проявлен литолого-стратиграфический фактор.

3.3.2. Горючих сланцев

Данная ренийсодержащая формация связана с горючими сланцами, которые развиты в северо-западной части Русской плиты (горючие сланцы (сланцы-кукерситы) среднего ордовика Прибалтийского сланцевого бассейна), а также на ее востоке и северо-востоке (верхнеюрские (волжский ярус) горючие сланцы). В восточной части региона выделяется обширная субмеридиональная Волжско-Печорская сланценосная провинция объединяющая ряд бассейнов и входящих в их состав сланценосных районов (с севера на юг): Тимано-Печорский (Большеземельский, Ижемский районы), Вычегодский (Яренгский, Сысольский районы), Центральный (Костромской район), Волжский (Свияжско-Сурский, Ульяновский, Чаганский, Общесыртовский) [Цифровая карта ..., 2010]. Горючие сланцы, распространены на значительные расстояния и, как правило, размещаются в центральных частях палеобассейнов, где располагаются впадины палеорельефа [Гаврилов и др., Щепетова, Щербакова, 2014]. Сланценосная толща имеет горизонтальное залегание, и в ряде участков может осложняться локальными поднятиями и флексурными перегибами. Пласты горючих сланцев редко прослеживаются в латеральном направлении на значительные расстояния (несколько десятков километров), а их количество во вмещающей, как правило, глинистой толще, непостоянно.

В размещении данной формации четко проявлен литолого-стратиграфический фактор, а накопление редких элементов (Re и Se, Cd, Tl и др.) в составе сланцев имеет стратиформный характер и сингенетическую природу.

Содержания Re (г/т) в верхнеюрских сланцах Русской плиты составляют от 0,06 до 0,31 г/т. В северо-западной части плиты распространены горючих сланцах-кукерситах среднего ордовика (Прибалтийский бассейн), с невысокими содержаниями рения (0,035 г/т).

Рениевую специализацию имеют доманиковые (верхний девон) кремнисто-терригенно-глинистые отложения Тимано-Печорского бассейна, содержащие Re на уровне 0,15 г/т.

За пределами ВЕП объекты данной формации установлены в сузакских сланцах раннего эоцена (Киргизия), в которых содержание рения составляет от 0,9 до 9,7 г/т (d отдельных пробах до 21,4 г/т) [Баситова, Засорина, Азизкулова, 1972].

1. Горючие сланцы-кукерситы Прибалтийского сланцевого бассейна. Сланцы залегают в глинисто-карбонатной толще, представленной переслаиванием известняков, доломитов и мергелей [Геология СССР, 1971; Строение сланценосной толщи ... , 1986]. Сланцы-кукерситы образуют до 30 слоев и прослоев мощностью от нескольких сантиметров до 0,6–0,9 м. Максимальная сланценосность приурочена к нижней половине кукерского горизонта,

где расположен промышленный пласт, имеющий мощность 1,8–3,2 м и состоящий из 3–4 сближенных слоев сланцев, разделенных известняками.

Максимальная сланценосность приурочена к нижней половине кукерского горизонта. Область распространения сланцев вытянута в субширотном направлении и расположена на западе Ленинградской области и в соседней Эстонии. В тектоническом отношении она приурочена к Балтийско-Ладожской моноклинали, осложненной Балтийско-Мезенской тектонической зоной.

Сланцы-кукерситы по сравнению с другими горючими сланцами значительно обогащены органическим веществом [Введение ... , 1997]. Содержание ОВ в них аномально высокое и составляет 20–50 %. Органическое вещество сланцев-кукерситов представляет собой остатки водорослей с сохранившейся структурой. Горючие сланцы сапропелевые с содержанием керогена до 40 % и выходом смолы 18–25 %, а их теплота сгорания составляет – 8–16 МДж/кг; выход летучих – 30–55 %, количество золы – 40–60 %, содержание серы – 1–3 %.

На западе Ленинградской и Псковской областей известны Ленинградское и Веймарнское месторождения, а на севере Новгородской области и частично Ленинградской области – Чудово-Бабинское месторождение сланцев-кукерситов. На территории Эстонии располагаются Эстонское и Тапаское месторождения.

По данным [Поплавко и др., 1974; Поплавко и др., 1978], содержание Re в сланцах-кукерситах составляет от $< 0,05$ до $0,06$ г/т, а по [Юдович, Кетрис, 1994] около $0,035$ г/т.

В последние годы в типовых пробах горючих сланцев-кукерситов Ленинградского месторождения методом ИСП-МС были установлены содержания Re от $0,0032$ до $0,024$ г/т (среднее $0,0086$ г/т), что сопоставимо с ранее полученными данными (Таблица 3.9).

Вероятнее всего, рений входит в состав органического вещества сланцев, а его накопление происходило на син-диагенетической стадии.

2. Горючие сланцы Яренгского сланцевого района. Район находится приурочен к Вашкской впадине Мезенской синеклизы и выполненной отложениями триаса и юры. В пределах района выделено две сланценозные площади - Чим-Лоптюгская и Южная [Горючие ... , 1989; Салдин и др., 2013]. Здесь находится Чим-Лоптюгское месторождение и ряд проявлений (Очея-Первый, Очея-Второй, Восим-Первый). Наибольшая сланценосность установлена на Чим-Лоптюгской площади, где наблюдаются 2–3 сближенных слоя горючих сланцев мощностью от первых сантиметров до $0,9$ м.

Таблица 3.9 – Содержание рения и ряда химических элементов в горючих сланцах-кукерситах, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Ленинградское месторождение			Кукерсит, по [Поплавко, 1974; 1978]
	среднее	мин.	макс.	
Re	0,0086	0,0032	0,024	< 0,05 (до 0,06)
U	2,05	1,5	2,7	—
V	46,57	41,9	50,9	37
Mo	2,31	0,37	4,8	5
Cu	11,75	9,3	14,2	18–50
Co	6,55	2	18,4	5
Ni	24	17,5	41,1	23
Zn	154,47	92,9	218	72–78
Pb	16,9	5,2	24,8	17–45
Bi	0,063	0,053	0,079	1,25
Cd	0,38	0,12	0,58	—
Sb	0,21	0,12	0,38	—
As	27,2	25,0	30,7	—
Ag	0,175	0,12	0,21	0,64 – > 1
Se	39,15	29,3	49,1	—
Tl	0,36	0,2	0,67	—
Ge	0,55	0,35	0,72	—
Sr	264	178	438	—
Ba	99,92	58,2	153	—

Примечание: n – количество проб, мин.– макс. – минимальное – максимальное.

Горючие сланцы – темно-коричневые, коричневато-серые, серые, иногда с зеленоватым оттенком, тонкослоистые, тонкоплитчатые до листоватых, в разной степени карбонатные, с обилием раковинного детрита, отпечатками раковин пелеципод и аммонитов. Минеральная часть горючих сланцев содержит пирит, кварц, карбонаты, глауконит, слюду, фосфаты, полевои шпат, хлорит, глинистые минералы. Органическая часть представлена альгинитом и псевдовитринитом. Из группы альгинита преобладает бесструктурное вещество – коллоальгинит. Талломоальгинит встречается значительно реже, он представлен простыми планктонными бесскелетными зелеными и желто-зелеными водорослями.

Сланцы Яренгского сланцевого района характеризуются рениевой специализацией [Карта угленосности ... , 1996] (Таблица 3.1). Содержание Re в горючих сланцах данного района составляет 0,092 – 0,55 г/т (среднее 0,32 г/т), при накоплении в них Co, V, Ni, Ge, Mo, Ba [Игнатъев, Иванова, 2013].

Новые данные о рениеносности горючих сланцев района были получены в результате опробования на Re (и группу элементов спутников) керна четырех разведочных скважин на Чим-Лоптюгском месторождении (Рисунок 3.6; Таблица 3.10, 3.11). Пробы для исследований были предоставлены Г.В. Игнатъевым и И.Н. Бурцевым (Коми научный центр, г. Сыктывкар).

Таблица 3.10 – Среднее содержание рения и ряда химических элементов в горючих сланцах и вмещающих алевритистых глинах Чим-Лоптюгского месторождения, ИСП МС, г/т

Элемент	слой I						слой II		слой III			Предел обнаружения
	слой I-1			слой I-2	слой I-3		слой II		слой III-1	слой III-2		
	ГС (n = 1)	ГлАл серая (n = 1)	ГСГл (n = 2)	ГС (n = 2)	ГС (n = 15)	ГлАл серая (n = 3)	ГС (n = 4)	ГСГл (n = 3)	ГС (n = 5)	ГС (n = 2)	ГСГл (n = 2)	
Re	0,095	0,07	0,086	0,076	0,124	0,09	0,185	0,167	0,158	0,29	0,135	0,005
Cu	114	89,3	105	100,8	115,2	74,7	109,5	99,2	105,9	173	79,6	1,0
Co	14,9	13,4	15,5	13,5	18,3	15	18	15,1	18,9	20,6	16	0,5
Ni	170	121	176	148	220	118	204	185	273	239	138	1
Zn	352	247	382	310	398	200	384	339	461	646	239	1
Pb	20	20	21	18	19	18	21	20	11	29	17	1
Bi	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1
Cd	13,8	8,3	13,7	13,4	14,5	6	15,7	12,6	16,3	28,8	8,4	0,1
Sb	5,0	2,7	4,6	4,4	6,0	3,6	7,2	6,3	9,0	10,3	4,8	0,1
Ag	0,68	0,54	0,61	0,6	0,54	0,4	0,66	0,6	0,48	0,95	0,45	0,01
Se	6,5	3,9	6,4	6	7,5	5,1	8,7	7,6	8,5	10,2	5,5	0,3
Tl	4,6	2,9	4,6	4,3	5,0	2,2	4,8	4,5	6,0	5,5	2,9	0,1
Sc	11	12,8	12,1	9,9	8,8	10,4	8,8	8,7	5,2	9,2	9,2	0,2
Ge	2,5	2,4	2,2	2,2	2,2	1,8	2,2	1,9	2,4	2,7	1,9	0,1

Примечание: ГС – горючий сланец, ГСГл – горючий сланец глинистый, ГлАл – глина алевритистая серая. n - количество проб в выборке.

Таблица 3.11 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в горючих сланцах и вмещающих породах Чим-Лоптюгского месторождения, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Горючий сланец (n = 29)			Горючий сланец глинистый (n = 7)			Глина серая алевритистая (n = 4)			Предел обнаружения
	среднее	мин	макс	среднее	мин	макс	среднее	мин	макс	
Re	0,145	0,072	0,32	0,134	0,082	0,20	0,085	0,061	0,11	0,005
Cu	116	82	292	95	71	107	78	58	89	1
Co	18,1	12,7	25,5	15,5	12	18	14,6	11,9	20,5	0,5
Ni	221	141	304	169	120	221	119	85	136	1
Zn	416	290	766	323	175	454	212	143	268	1
Pb	18	8	32	19	16	23	18	16	20	1
Bi	0,2	0,1	0,30	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1
Cd	15,9	11,9	37	11,7	4,9	18	6,5	3,7	9,1	0,1
Sb	6,8	4,2	11,5	5,4	4,2	7,5	3,4	1,9	4,8	0,1
Ag	0,5	0,39	1,05	0,56	0,3	0,64	0,43	0,3	0,6	0,01
Se	7,9	5,4	11,4	6,7	4,6	8,6	4,8	3,8	6,5	0,3
Tl	5,1	4,1	7,7	4,1	1,7	5,8	2,4	1,6	3,1	0,1
Sc	8,4	4,3	11,5	9,8	7,2	12,8	11,0	10,0	13,0	0,2
Ge	2,3	1,7	2,9	1,9	1,7	2,4	1,9	1,5	2,4	0,1

Примечания: мин – минимальное значение, макс – максимальное значение, n – количество проб в выборке.

По результатам анализов наиболее высокие средние содержания Re установлены в слоях III и II. Так, в горючих сланцах слоя III-2 его содержание составляет 0,29 г/т. В нем же отмечаются и наиболее высокие содержания (г/т): Se (10,2), Cu (173), Co (20,6), Zn (646), Pb (29), Cd (28,8), Sb (10,3), Ag (0,95) и Ge (2,7). Максимальные содержания Re в штучных пробах горючих, составляющие до 0,32 г/т, установлены также в слое III-2.

В горючих сланцах установлены высокие положительные корреляционные связи Re с химическими элементами (n = 29, значимые величины более $r = 0,47$): Se (0,86), Zn (0,85), Cd (0,84), Ag (0,81), Sb (0,76), Cu (0,68), Co (0,61), Tl (0,55), Pb (0,51), Ge и Ni (0,5).

Таким образом, определено, что в горючих сланцах Чим-Лоптюгского месторождения среднее содержание Re составляет - 0,145 г/т (от 0,072 до 0,32 г/т, стандартное отклонение – 0,07). Также выявлены высокие средние содержания (г/т) Se (7,9), Cd (15,9) и Tl (5,1).

Накопление в горючих сланцах Re и Se, Cd, Tl происходило на этапе син-диагенеза. Источником химических элементов, вероятно, являлись придонные воды седиментационного палеобассейна, которые поступали в бассейн при разгрузке в водную толщу термальных (в том числе металлоносных) флюидов по разрывным нарушениям в бортовой зоне Керецко-Лешуконского авлакогена. Разгрузка флюидов, прогрев осадков и водной толщи наряду с другими факторами положительно влияли на увеличение биопродуктивности планктона.

3. Горючие сланцы Костромского сланцевого района. Район расположен в восточной части Русской плиты на территории Костромской области. Здесь горючие сланцы приурочены к верхнеюрским отложениям. Здесь известно Мантуровское месторождение и ряд проявлений (Макаровское, Усольское, Ледино-Афанасьевское, Голиковское, Угорское).

Сланцы коричневые и темно-серые массивные (или слоистые) известковистые, часто включают тонкие (1–3 см) прослои битуминозной глины, органического вещества и состоят в основном из коллоальгинита, меньше – псевдовитринита. Мощность продуктивных отложений от 2–3 до 8–9 м.

В результате опробования разреза верхнеюрских отложений, вскрытых в береговом обрыве реки Унжа у г. Макарьев были получены первые данные о наличии Re и ряда других элементов в черных углеродистых глинах и горючих сланцах верхней юры (Таблица 3.12). В сланцах выявлены содержания Re до 0,29 г/т, при этом в них также фиксируется высокое содержание Se (15,5 г/т), V (238 г/т), Ni (379 г/т) и Cd (6,1 г/т). Количество рения во вмещающих глинах на порядок ниже и составляет 0,015 г/т.

Таблица 3.12 – Содержание рения и ряда химических элементов в углеродистой глине и горючем сланце из обнажений по р. Унжа в районе г. Макарьев в Костромской области, ИСП МС, г/т

Элемент	Глина углеродистая	Сланец горючий	Предел обнаружения
Re	0,015	0,29	0,005
U	4,19	18,4	0,1
V	264	238	2,5
Mo	0,91	58,3	0,6
Cu	19,7	79,1	1
Co	43,6	20,6	0,5
Ni	132	379	1
Zn	300	355	1
Pb	21,1	22,9	1
Bi	0,33	0,35	0,1
Cd	0,26	6,1	0,1
Sb	0,73	2,1	0,1
Ag	0,07	0,59	0,01
Hg	0,042	0,072	0,015
Se	4,82	15,5	0,3
Sc	17,8	11,4	0,2
Ga	14,4	9,8	0,1
Ge	1,69	1,58	0,1
Sr	194	255	1
Ba	362	665	3
C _{орг} %	0,24	16,24	0,03
S _{общ} %	0,9	2,75	0,005

4. Горючие сланцы Сысольского сланцевого района. Сысольский сланценосный район, входящий в состав Вычегодского сланцевого бассейна, располагается на севере Волго-Уральской антеклизы [Горючие ..., 1989, Льюров, 1996, Бондарь, 1985]. Юрские отложения, залегают с размывом на различных горизонтах триаса.

Горючие сланцы верхнеюрского возраста Сысольского сланцевого района, по сравнению с другими сланцами России, обогащены Mo, Cd, As, V, Zn, Ag, а в золе горючих сланцев установлен Mo (10–19 г/т) и V (35–100 г/т) [Карта угленосности ... , 1996].

Промышленно значимые горизонты (до 26 слоев) приурочены к верхнеюрским (волжский ярус, средний подъярус) отложениям. Широкое развитие горючие сланцы имеют в северо-западной части района, расположенной в восточной части Сысольского свода. Территория сплошного распространения отложений в пределах Сысольской впадины имеет протяженность до 160 км при ширине до 62 км. Здесь находятся месторождения горючих сланцев: Иогульское, Чухломское, Визингское, Вадыбское, Ибское, Пустышь-Кунибское, Вотчинское, Пыелдинское, Плауз, Карвужемское, Ужтинское, Кайгородское, Воктымское, Уривское, Калининского рудника, Синегорское и Воронье-Волоскинское. Два последних являются наиболее крупными.

Ранее определения Re в сланцах не выполнялись. Автором проанализировано две пробы горючих сланцев Синегорского месторождения: сланец горючий с отпечатками фауны *Virgatites guensteati* (Roull) и сланец горючий глинистый (Таблица 3.13). Содержание Re в горючих сланцах – 0,11–0,033 г/т, что близко уровню его содержания в диктионемовых сланцах. В пробе горючего сланца, наблюдаются повышенные содержания Se (11–57,7 г/т), Mo, U, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Ag.

Таблица 3.13 – Содержание рения и ряда химических элементов в горючих сланцах Синегорского месторождения, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Горючий сланец	Горючий сланец глинистый	Предел обнаружения	Химический элемент	Горючий сланец	Горючий сланец глинистый	Предел обнаружения
Re	0,11	0,033	0,005	Bi	0,29	0,26	0,1
U	53,8	5,65	0,1	Cd	10,4	1,56	0,1
V	175	157	2,5	Ag	0,73	0,54	0,01
Mo	89	8,04	0,6	Se	57,7	11	0,3
Cu	294	135	1	Tl	0,9	0,79	0,1
Co	9,94	10,1	0,5	Sc	9,95	16,7	0,2
Ni	442	137	1	Ge	2,27	2,16	0,1
Zn	240	131	1	Sr	145	236	1
Pb	33,4	19,2	1	Ba	1150	259	3

В горючих сланцах рений ассоциирован с органическим веществом, а его накопления сформированы на син-диагенетическом этапе. Приуроченность района к зоне Вятско-Кажимского авлакогена позволяет предполагать, что Re и другие редкие элементы могли поступать в верхнеюрский бассейн в составе флюидов, разгружающихся по проницаемым нарушениями в осадочном чехле, в том числе приуроченных к бортовой части авлакогена.

5. Горючие сланцы Волжского сланцевого бассейна. Горючие сланцев бассейна, приуроченных к толще средневожского подъяруса верхней юры. Этот интервал разреза достаточно детально изучен [Месторождения горючих ... , 1988; Букина, 2013].

Пласты горючих сланцев редко прослеживаются в латеральном направлении на значительные расстояния (несколько десятков километров), а их количество в толще непостоянно. Нередко наблюдается латеральное замещение сланценосной толщи конденсированными разрезами – фосфоритовыми горизонтами, ракушечниками (известковыми и кремнистыми), глауконитовыми песчаниками.

Продуктивная часть разреза (зона *Dorsoplanites panderi*) бассейна представляет собой толщу ритмичного чередования пластов и прослоев горючих сланцев и сапропелевых, реже известковистых глин. Мощность продуктивного интервала колеблется от 5–10 м на севере бассейна до 25–30 м в центральной и до 80–100 м в южной части. В нем содержится от 3 до 15 пластов и пропластков горючих сланцев суммарной мощностью от 0,1 до 8–10 м.

По содержанию $C_{орг}$ и текстурным особенностям сланцы подразделяются [Гаврилов и др., 2014] на темно-коричневые тонколистоватые, интенсивно обогащенные органические вещества (ОВ) (15,8–24,4 % $C_{орг}$); светло-коричневые менее углеродистые (5,8–13,6 % $C_{орг}$), плитчатые; последние преобладают в составе сланценосной толщи. Скопления раковин моллюсков чаще присутствуют в относительно низкоуглеродистых сланцах, в то время как в высокоуглеродистых разностях они редки. Петрографические исследования показали, что в углеродистых сланцах присутствует в основном бесструктурное ОВ (до 90–99 %), соответствующее коллоальгину [Гинзбург, 1991].

Основными компонентами ГС являются: минерально-органические остатки кокколита; глинистые минералы; алевритовые частицы кварца, полевых шпатов, слюды, а также пирокластик, главным образом вулканическое стекло [Разрез ... , 2004].

Основными компонентами неорганической части горючих сланцев (ГС), являются глинистое вещество (монтмориллонит и смешаннослойные минералы присутствуют в меньшем количестве, каолинит, хлорит) и карбонатный материал (преимущественно пелитоморфный и кристаллический кальцит, арагонит). Кварц, мусковит, полевые шпаты, сульфиды – в основном пирит, марказит, коллофан, акцессории в составе минеральной части ГС занимают подчиненное

положение. Тяжелая фракция ГС достигает 4 % от общей массы алевритовых частиц, представлена главным образом сульфидами, в основном пиритом.

Возрастание концентраций $C_{орг}$ в сланцах коррелирует с увеличением доли коллоальгинита. При переходе от вмещающих глинистых пород к горючим сланцам одновременно с $C_{орг}$ 5–27 % существенно возрастает содержание S, Se, Ni, Ag, Mo, V, P. Среди них выделяются высокой степенью концентрирования S, Mo и Se [Щепетова, 2009; Щепетова, 2011; Гаврилов и др., 2014].

На склоне Жигулевско-Пугачевского свода расположены Кашпирское и удаленные от него на расстояние 80–150 км Савельевское и Орловское месторождения. Кашпирское месторождение – наиболее крупный объект бассейна, разведанные запасы составляют 2,17 млрд т. В горючих сланцах Кашпирского месторождения установлено содержание Re 0,06–0,14 г/т [Поплавко и др., 1978].

В последние годы в горючих сланцах Волжского сланцевого бассейна были установлены содержания рения 0,016–0,22 г/т [Самойлов и др., 2015; 2017; Ильясов, Староверов, Илясов, 2024]. По этим данным содержание Re в разрезе Кашпирского месторождения составляет (г/т): горючий сланец – 0,035–0,081; горючий сланец с галькой фосфоритов – 0,016; разноцветные конгломерато-подобные глинистые горючие сланцы с обильными остатками фауны из горелого террикона шахты № 3 – 0,11–0,22. На рисунке 3.7 показано расположение проб в стенке шахты «Новокашпирская» и содержание в них рения.

При анализе различных вещественных фракций (глинистое вещество, минеральная часть, сульфиды) по трем пробам с Кашпирского месторождения было установлено, что Re, совместно с V, Mo, Ni, фосфором и титаном, ассоциируют с глинистым материалом, содержащим примесь органического вещества, тогда как с сульфидной частью пород ассоциируют Zn, Pb, Sc, Ge, В и Fe [Самойлов и др., 2017].

Автором был опробован на рений разрез «Городищи», расположенный на правом берегу р. Волга севернее г. Ульяновск у дер. Городищи (Рисунок 3.8). Анализ химического состава горючих сланец показал, что Re имеет наиболее устойчивые положительные корреляции с Hg, Se, Zn, Cu, U и $C_{орг}$. Обращают на себя внимание установленные высокие содержания в горючих сланцах Se (до 11 г/т) (Таблица 3.14). Последнее находит подтверждение в селен-молибденовой геохимической специализации сланцев Волжского бассейна [Карта угленосности... , 1996].

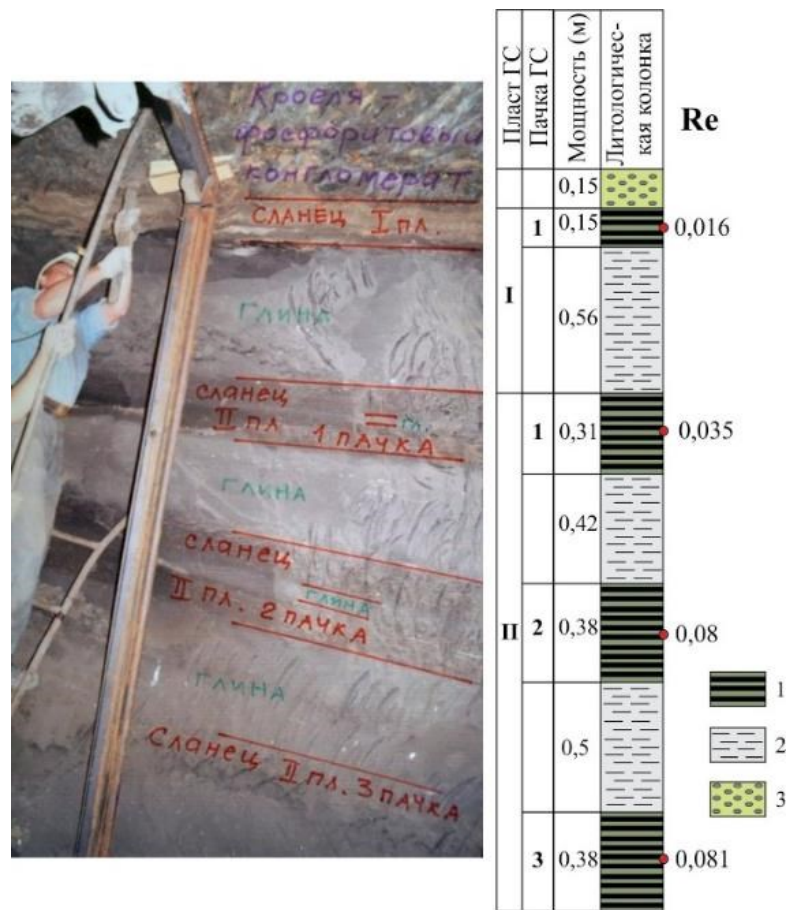
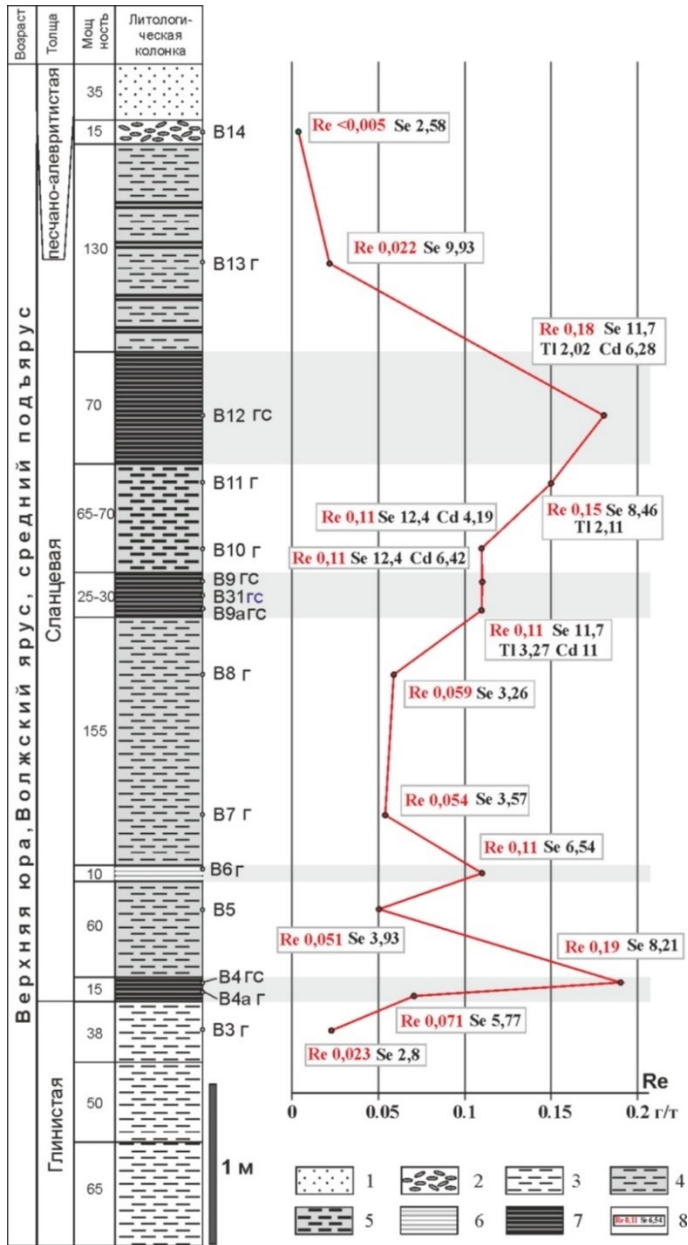
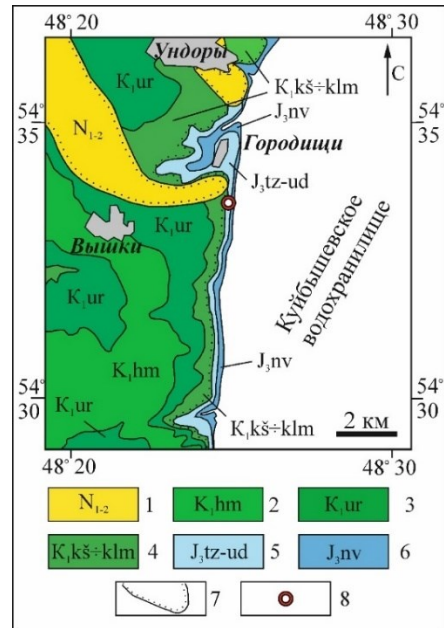


Рисунок 3.7. Разрез продуктивной сланценой части Каширского месторождения горючих сланцев (шахта «Новокаширская») с содержанием Re (г/т)

Фото и маркировка пачек по Л. В. Гузиной. 1 – горючий сланец; 2 – глина известковая; 3 – конгломерат фосфоритовый.



А



Б



В

Рисунок 3.8. Характеристика разреза «Городищи» (Ульяновская область)

А - схематическая колонка с расположением исследованных проб и содержанием в них Re и повышенных содержаний Se, Tl и Cd. (1 – песчаники глауконитовые; 2 – фосфориты; 3 – глины мергелистые светло-серые, белые; 4 – глины темно-серые, до черных; 5 – глины сланцеватые, темно-серые до черных; 6 – сланцы горючие глинистые; 7 – сланцы горючие (часто с тонкими прослоями глин); 8 – содержание Re, Se (более 1 г/т), Tl (более 2 г/т) и Cd (более 3 г/т). Индекс около номера пробы: ГС – горючий сланец, Г – глина, С – сульфиды); Б - геологическая карта района. Составлена автором с использованием [Геологическая..., 2000] (1 – отложения миоцен-плиоцена (глины, алевролиты, пески); 2-4 – отложения нижнего мела; 2 – нижний апт, хмелевская толща (глины), 3 – барремский ярус, уренская толща (глины с линзами песков и песчаников); 4 – кашпирская, макарьевская, долгорецкая толщи и климовская свита объединенные (глины, в основании песчаники с фосфоритами);

5-6 – верхнеюрские отложения, 5 – волжский региоярус, тразовская, промзинская толщи и ундорская свиты объединенные (глины, битуминозные сланцы с прослоями глин, песчаники), 6 – киммериджский ярус, новиковская толща (глины с прослоями мергелей); 7 – несогласное залегание, 8 – опробованный разрез); В - коренные выходы верхнеюрских отложений, содержащие горючие сланцы в разрезе «Городищи».

Таблица 3.14 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в различных типах пород разреза «Городище», ИСП МС, г/т

Химический элемент	мергель светлосерый (n = 1)	горючий сланец черный (n = 4)	глина темносерая (n = 4)	глина темносерая до черной (n = 4)	фосфорит (n = 1)	Предел обнаружения
Re	0,023	0,148	0,110	0,047	<0,005	0,005
U	4,1	16,9	12,3	7,6	19,8	0,1
V	89,1	118,5	129,8	94,3	43,7	2,5
Mo	6,2	39,7	18,4	10,3	2,1	0,6
Cu	39	134	92	49	10	1
Co	58,8	15,2	27,1	41,4	34,7	0,5
Ni	355	235	180	132	36	1
Zn	167	192	148	105	60	1
Pb	31	19	22	24	18	1
Bi	0,38	0,35	0,40	0,35	<0,1	0,1
Cd	0,45	6,33	2,21	0,65	0,16	0,1
Sb	0,74	1,87	1,14	0,73	0,28	0,1
As	н/д	12,10	15,65	13,9	н/д	1
Hg	н/д	0,054	0,041	0,029	н/д	0,005
Ag	0,14	0,45	0,21	0,11	0,04	0,01
Se	2,8	11,00	8,29	5,172	2,58	0,3
Tl	0,70	1,95	1,19	0,52	0,14	0,1
Sc	14,80	11,41	17,23	16,05	5,35	0,2
Ge	1,4	2,26	1,980	1,6525	1,71	0,1
Sr	279	181	186	290	1200	1
Ba	141	292	459	274	260	3
Y	27,7	41,00	29,9	25,87	45,4	0,1
C _{орг} %	0,71	23,86	7,793	2,68	0,90	

С целью выявления связи рения с определенной вещественной частью пород было проведено сопоставление его содержаний в валовых пробах черных глин и выделенных из них сульфидных концентратов (Таблица 3.15). Установлено, что рений и практически все редкие элементы не концентрируются в сульфидных стяжениях, конкрециях, сливных выделениях, а связаны с органическим веществом пород.

Таблица 3.15. – Сравнение содержаний рения и ряда химических элементов в черных сланцеватых глинах с сульфидами и проб сульфидов (сульфидный концентрат), выделенных из них, в разрезе «Городищи» (Ульяновская область), ИСП МС, г/т

Химический элемент	Глина черная сланцеватая с сульфидами (проба В4а)		Глина темно-серая сланцеватая с сульфидами (проба В6)		Предел обнаружения
	Валовая проба	Сульфиды	Валовая проба	Сульфиды	
Re	0,071	<0,005	0,11	0,005	0,005
U	9,69	0,53	14	0,36	0,1
V	140	4,76	105	<2.5	2,5
Mo	11,9	5,32	16,1	5,24	0,6
Cu	83,8	7,88	90,9	10,2	1
Co	38,3	6,26	25,2	2,31	0,5
Ni	183	52,8	160	87,3	1
Zn	138	19,5	119	10	1
Pb	25,1	3,6	20,8	1,31	1
Bi	0,47	<0,1	0,35	<0,1	0,1
Cd	0,68	0,11	1,01	0,24	0,1
Sb	0,98	0,5	0,83	0,52	0,1
Ag	0,16	0,059	0,23	0,016	0,01
Se	5,77	1,15	6,54	2,7	0,3
Tl	0,83	0,56	0,74	0,8	0,1
Sc	20,1	1,3	16,2	0,38	0,2
Ge	2,15	0,16	1,97	0,12	0,1
Sr	132	28,6	225	29,2	1
Ba	569	211	795	18,3	3

Примечание: Номера проб соответствуют разрезу на рисунке 3.8.

Южнее Кашпирского месторождения, на левом берегу Волги располагается Орловское месторождение. В горючих сланцах этого месторождения установлены невысокие содержания рения в 0,027 г/т [Самойлов и др., 2015].

В южной части Волжского горючесланцевого бассейна располагаются Общесыртовский и Чаганский сланцевые районы, приуроченные к Бузулукской впадине. Здесь располагаются крупные месторождения горючих сланцев – Перелюб-Благодатовское и Коцебинское, Чаганское и месторождения Общесыртовской группы (Общесыртовское, Дергуновское, Торпано-Гришкинское) [ГГК N-38(39)..., 2000; Букина, 2013].

В горючих сланцах Перелюбского месторождения установлены содержания рения в 0,013 г/т, а на Коцебинском – 0,018–0,079 г/т [Самойлов и др., 2015]. В сланцах рений ассоциирует с селеном.

Таким образом, ренийсодержащая формация горючих сланцев распространена широко в осадочном челе ВЕП, а наиболее значимые по масштабам объекты связаны с верхнеюрскими

сланценосными отложениями на востоке региона. Рений содержится в горючих сланцах на уровне 0,06-0,31 г/т в ассоциации с Сорг, Se, Mo, V, Mo, Ni, Hg и др.

3.3.3. Каменноугольная

Данная формация установлена в каменных углях (средний карбон, низы верхнего карбона) Донецкого бассейна, для которых характерна специфическая геохимическая ассоциация: Hg, Re, As, Sb, B, Ge, U [Жаров и др., 1996; Карта угленосности ..., 1996; Угольная база России, 2000]. В углях Re ассоциирует с сульфидами (может входить в их состав), находится в составе металлоорганических соединений или присутствует в сорбированном виде в органическом веществе.

Наиболее высокие содержания Re (более 0,1 г/т) установлены в углях Шахтинско-Несветаевского (шахта им. Окт. Революции, Несветаевская, Майская, Южная) и Гуково-Зверевского (шахта Шерловская-Наклонная, Центральная, Аютинская) геолого-промышленного района (Таблица 3.16). Рений ассоциирует в углях с Ag, V, Ni, Zn, Pb, Cu, Hg. Значимые содержания Re (до 0,36 г/т) установлены в промпродуктах обогатительных угольных фабрик «Донецкая», «Гуковская» и «Южная».

В юго-восточная часть Донецкого угольного бассейна. Шахтинско-Несветаевский угленосный геолого-промышленный район на севере ограничен Сулино-Константиновским надвигом, на юге – Сало-Маньчским (Персиановским) разломом (Рисунок 3.8). Каменноугольные отложения района выполняют крупную Шахтинско-Несветаевскую синклинали субширотного простирания с примыкающей к ней полосой мелких складок на севере Главной антиклинали, а на юге – Первой Южной антиклинали. Ось синклинали в общем погружается на юго-восток, образуя ряд поднятий и впадин. Южное крыло синклинали пологое (15° – 25°), на северном преобладают углы падения 30° – 45° . Разрывные нарушения представлены поперечными сбросами и надвигами, имеющими углы падения от 30° – 45° до 90° и преимущественно северо-западное простирание. Амплитуды нарушений от 1–5 до 110 м. Амплитуда Сулино-Константиновского надвига по вертикали составляет 250–700 м, южное крыло опущено. Сало-Маньчский разлом имеет амплитуду от 350 до 1000 м.

На южном крыле Шахтинско-Несветаевской синклинали известны два поперечных поднятия – Аютинское и Керчикское, с которыми связана группа поперечных разрывных нарушений. Для южного и, в меньшей степени, северного крыльев синклинали характерно развитие тектонических внутрипластовых смещений по угольным пластам.

Таблица 3.16 – Средние содержания малых элементов в товарной продукции угледобывающих и углеобогачительных предприятий Восточного Донбасса, г/т [Жаров и др., 1996]

Шахта / фабрика	Марка*	Re	U	V	Mo	Cu	Co	Ni	Zn	Pb	Sc	As	Ag	Hg	Se	Au
Шахтинско-Несветаевский район																
Ш.Несветаевская	А	0,18	1,4	41	3,6	45	10	48	39	25	5,7	10	0,2	0,06	-	-
Ш.им. Окт.Революции	А	0,48	1,3	42	5	72	10	72	110	57	5,3	11	0,4	0,07	-	0,01
Ш.Майская	А	0,32	0,8	-	-	-	7	-	-	-	4	10	-	0,1	-	0,005
Ш.Южная	А	0,7	1,2	58	5,7	72	11	58	58	50	4,1	-	0,3	-	0,1	-
Ш.им.Красина	А	0,09	1,3	49	6	57	10	43	60	36	6,5	12	0,4	0,13	-	0,01
Гуково-Зверевский район																
Ш.Шерловская-Наклонная	А	0,49	1,8	46	6	62	10	62	146	29	4,3	11	0,2	0,14	0,1	0,02
Ш.Центральная	К	0,22	1,4	52	6,8	100	9	34	69	27	9,6	53	0,1	0,09	2,6	0,01
Ш.Аютинская	А	0,12	1,8	-	-	-	-	-	-	-	5,9	6	-	0,09	-	-
Ш.Западная (АО «Гуковуголь»)	К	0,09	1,2	66	4,3	83	10	29	62	22	8,8	28	0,03	0,07	2	-
Ш.Бугругустанская	А Р	0,01	1,2	28	6,4	35	6	10	24	2	6,2	49	0,07	0,03	2,7	0,01
Ш.Замчаловская	А Р	0,01	0,8	26	3,9	34	10	11	22	3	5,7	12	0,1	0,02	1,2	0,01
Ш.им.50-летия Октября	А	0,01	1,7	22	3,4	22	5	7	58	2	3,5	30	0,05	0,02	1,5	-
Ш.Гуковская	А Р	0,01	1,3	29	6,2	31	7	10	22	3	5,0	42	0,1	0,03	1,6	0,01
Ш.Пластовская (Антрацит)	А Р	0,04	1,0	23	5,7	35	7	12	85	2	3,3	29	0,1	0,01	1,6	0,01
Ш.Ростовская	АМ	0,01	1,3	25	6,9	40	4	13	25	12	4,0	-	0,1	0,02	1,2	-
Ш.Алмазная	АС	0,01	0,8	18	5,3	22	5	12	30	10	3,0	-	0,1	0,03	1,9	0,01
Каменско-Гундоровский район																
Ш.Изваринская	К	0,01	2,1	62	58,4	92	8	36	68	22	7,1	43	0,1	0,06	3,6	-

Примечания: « - » нет, Марка*- технологическая марка угля: А – антрацит, К – коксовый; вторая буква в обозначении по размеру фрагментов: Р – «рядовой» 0-200 мм, К – «крупный» 5-100 мм, С – «семечка» 6-13 мм, М – «мелкий» 13-25 мм; Ш. – шахта.

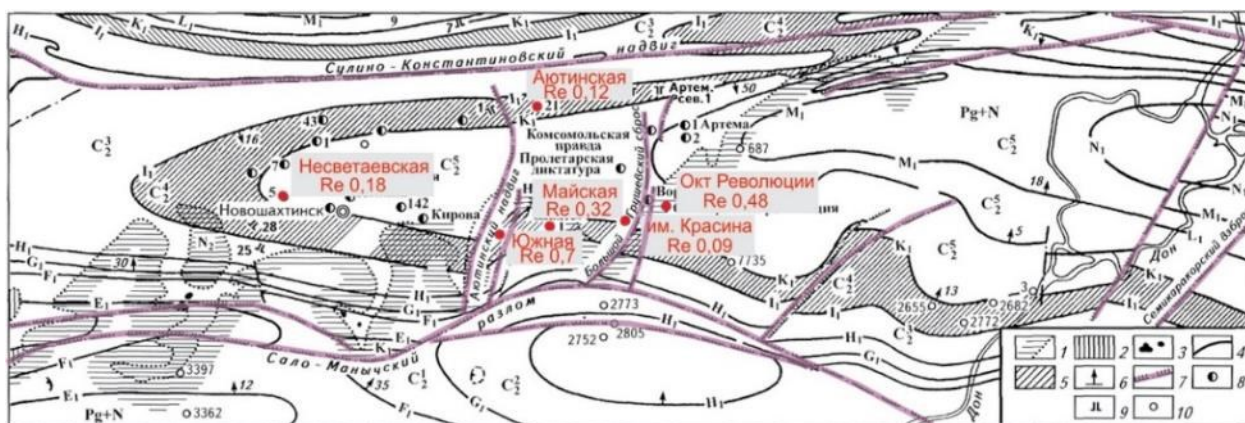


Рисунок 3.8 Схема размещения опробованных на рений угольных разрезов (шахт) Шахтинско-Несветаевского геолого-промышленного угленосного района с содержанием рения (г/т). Составлена автором с использованием [Угольная база России, 2000]

1 – граница распространения отложений палеогена и неогена; 2 – верхнемеловые отложения; 3 – эффузивные породы; 4 – граничные известняки свит карбона; 5 – свита C_4 ; 6 – направление падения каменноугольных отложений; 7 – разрывные нарушения; 8, 9 – шахты: 8 – вертикальные, 9 – наклонные; 10 – скважины.

В районе Главной антиклинали изверженные породы прослеживаются в виде небольших (1–4,5 м) крутопадающих интрузий, приуроченных к сбросовым трещинам. В виде даек они установлены в горных выработках шахт.

Промышленная угленосность связана со свитами среднего карбона (C^3 , C^4 , C^5). Угли относятся к антрацитам. Зольность от 9,0 до 24,6 %. По содержанию серы угли относятся в основном к сернистым (3,0–3,75 %). На рисунке 55 отчетливо видно, что повышенные содержания Re (до 0,7 г/т) в углях установлены в угольных разрезах, находящихся вблизи разрывных нарушений, имеющих ориентировку поперечную, по отношению к основному простиранию складок.

Гуково-Зверевский угленосный геолого-промышленный район. На севере ограничен Северной антиклиналью, а на юге осью Должанско-Садкинской синклинали (Рисунок 3.9). В структурном отношении район расположен в пределах зоны крупных линейных складок. Северное крыло Северной антиклинали осложнено мелкой складчатостью. Антиклиналь осложнена двумя продольными флексурами: Зверевской и Гуковской. В геологическом строении района принимают участие каменноугольные и четвертичные отложения.

Угленосные отложения в районе представлены свитами C^3_2 – C^7_2 среднего и низами свиты верхнего карбона.

Осадочная толща осложнена рядом надвигов и сбросов, вытянутых преимущественно в субширотном, реже меридиональном направлениях. Из наиболее значительных выделяются Лиховской, Главный Розеттовский, Замчаловский и Тацинский надвиги. Сбросы

преимущественно субмеридиональной ориентировки. Угли относятся к антрацитам. Зольность углей 5,9–16,7 %. Угли среднесернистые (0,5–2,5 %) и сернистые (2,6 % и выше).

Установлено, что повышенные концентрации Re (от 0,22 до 0,49 г/т) в углях тяготеют (Рисунок 3.9) к угольным разрезам, расположенным вблизи разрывных нарушений, ориентированных как поперечно к основному простиранию складок (район г. Гуково), так и имеющих северо-западную (субогласную) ориентировку (район шахты «Шерловская-Наклонная»).

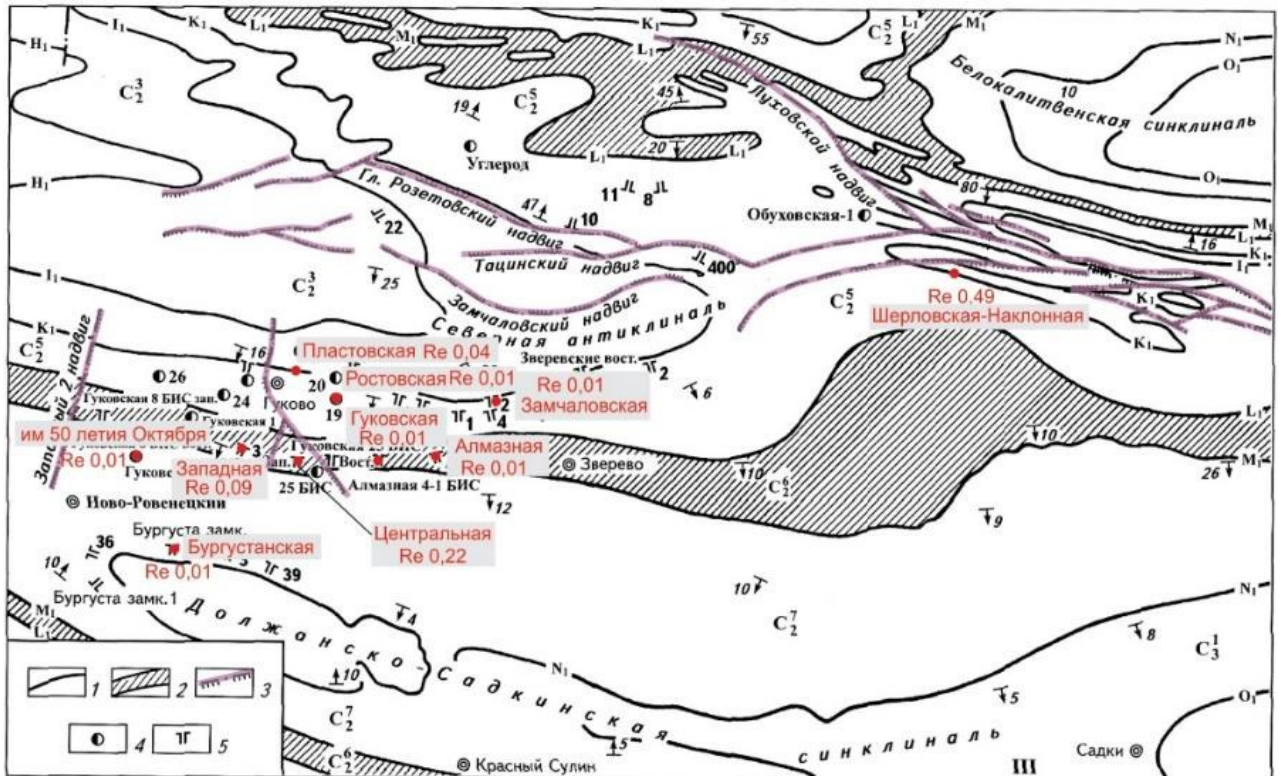


Рисунок 3.9. Схема размещения опробованных на рений угольных разрезов (шахт) Гуково-Зверевского геолого-промышленного угленосного района с содержанием Re (г/т). Составлена автором с использованием [Угольная база России, 2000]

1 – границы известняки свит карбона; 2 – свита C^6 ; 3 – разрывные нарушения; 4 – шахты вертикальные; 5 – шахты наклонные

В северо-западной части Донецкого бассейна. Re ранее был определен в углях ряда шахт Лисичанского района [Юровский, 1968] (Таблица 3.17). Наиболее высокие концентрации Re характерны для низкозольных углей. Наличие Re почти во всех углях и его связи с зольностью углей, даже при допущении низкого качества выполненных анализов, свидетельствуют о присутствии Re в углях на уровне, сопоставимом с данными по соседней, восточной части Донбасса.

Таблица 3.17 – Содержание Re в товарных углях Лисичанского района, г/т [Юровский, 1968].

Шахта	Марка*	зольность, %	Re	
			в золе	в угле
<i>"Кременная №1"</i>	Д (концентрат)	6,8	5,88	0,4
	Д (отсев)	32,6	0,92	0,3
<i>"Кременная-Западная"</i>	ДР	19	3,68	0,7
<i>"Томашевка-Южная"</i> "	Г (отсев)	14,4	2,77	0,4
	ГМ	20	2,5	0,5
<i>"Привольнянская-Южная"</i>	ГД	24,8	1,3	0,3
	Д (концентрат)	7,8	5,12	0,4
	Д (отсев)	26,9	1,85	0,5
<i>"Привольнянская-Северная №1"</i>	Д (рядовой)	30,5	1,31	0,4
	Д (отсев)	26,3	1,52	0,4
<i>"Черноморка"</i>	ДК	12,3	4,07	0,5
	ДМ	35,5	2,25	0,8
<i>"Ново-Дружеская"</i>	ДК	10,4	4,8	0,5
	ДО	16,4	4,27	0,7
	ДМ	19,5	1,02	0,2
<i>№1-2 "Мельникова"</i>	ДР	28,9	2,42	0,7
<i>№7 "Мельникова"</i>	ДР	18,9	2,64	0,5
<i>Им. ОГПУ</i>	ДК	8,6	9,3	0,8
	ДО	18,2	3,84	0,7
	ДМ	19,1	3,14	0,6
<i>"Матросская"</i>	ДР	23,4	1,28	0,3
<i>№14 "Гошковка"</i>	ГР	31,64	0,63	0,2
<i>"Мирнодолинская"</i>	ДР	21,5	0,75	0,2
<i>№4-2</i>	ЖР	7,51	не обн	не обн
<i>№11-бис</i>	ГР	22,28	0,45	0,1
<i>"Томашевка-Северная"</i>	ГР	19,4	3,09	0,6

Примечания: Не обн - не обнаружен; Марка* - технологическая марка угля: Д – длиннопламенный, Г – газовый, Ж – жирный; вторая буква в обозначении по размеру фрагментов: Р – «рядовой» 0-200 мм, О – «орех» 25-50 мм, К – «крупный» 5-100мм, М – «мелкий» 13-25 мм.

Исходя из ряда факторов: приуроченность угленосных отложений Донбасса к Припятско-Доно-Мангышлакской складчатой системе, являющейся частью планетарной системы рифтов; расположение наиболее высоких содержаний рения в углях вблизи зон поперечных тектонических нарушений (надвиги, сбросы) осложняющих угленосную толщу; ассоциация Re с Hg, As, Sb. В качестве рабочей модели накопления Re в угленосных отложениях Донбасса рассматривать поступление Re из глубинных зон по тектоническим нарушениям (в том числе в виде металлоносных рассолов) в угленосные отложения с его фиксацией в углях. При этом возможно локальное перераспределение рения в пределах угленосной толщи как с участием низкотемпературных гидротермальных процессов, так и эпигенетических (гидрогенных) процессов. При этом, часть Re, вероятнее всего, могла накапливаться в отложениях,

обогащенных углеродом на син-диагенетическом этапе при поступлении редких элементов из активизированных рифтогенных зон в область накопления торфов, а также поступать в составе вулканических пеплов, о существовании которых свидетельствуют многочисленные прослои преобразованных пепловых образований – тонштейнов.

3.3.4. Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом

Данная ренийсодержащая формация приурочена к органогенно-фосфатным ураново-редкометалльным рудам в отложениях майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен) на территории вала Карпинского.

Основу фактического материала по ренийности Калмыцкого ПРР составили фондовые данные (ГП «Кольцовгеология», ФГБУ «Институт Карпинского», ФГБУ «ВИМС») и многочисленные публикации, а также авторские материалы, полученные при документации и опробовании керн скважин.

Здесь установлено 13 месторождений (Степное, Центральная, Яшкульско-Троицкая, Воробьевская, Нугринская, Северо-Харабулукская, Прудово-Южнобуратинская, Багабурульская, Шаргадыкская, Богородская залежи и др.), десятки проявлений и многочисленные пункты минерализации. Глубина залегания рудных горизонтов, сложенных костным детритом, колеблется от 170 до 900 м.

В региональном плане рассматриваемые месторождения, располагаются компактно и приурочены к Элистинскому мегаблоку вала Карпинского, который ограничен с запада и востока тектоническими нарушениями.

Месторождения рассматриваемого типа приурочены к отложениям так называемой «рыбной подсвиты» среднего майкопа (верхний олигоцен), где они локализуются на трех рудных горизонтах, получивших название (снизу-вверх): степновский, южнобуратинский и багабурульский. Олигоценый разрез майкопской серии составляют (снизу) цимлянская, соленовская, калмыцкая и нугринская свиты; нижнемиоценовая часть представлена арадыкской и цаганхакской свитами (Рисунок 3.10).

Рудовмещающая *калмыцкая свита* мощностью до 400–500 м включает в себя все рассматриваемые месторождения. Нижняя подсвита в базальной части образована темными известковыми глинами с рассеянными остатками рыб. Верхняя подсвита (до 115 м) сложена зеленоватыми слоистыми глинами, часто алевритовыми, с конкрециями сидеритов. К северо-западу от рудного района, в более мелководной зоне бассейна «рыбные фации» отсутствуют. Глины калмыцкой свиты тонко- и микрослоистые, темно-серые и бурые; повсеместно содержат примесь углисто-растительного шлама и тонкодисперсного пирита. Мощность рудных горизонтов, представляющих собой пласты глины, в различной степени обогащенные

костным детритом рыб, колеблется от 5 до 30 м. Расстояние между горизонтами в вертикальном разрезе изменяется от нескольких метров до 130 м.

О Л И Г О Ц Е Н Н		отдел	подотдел	свита	подсвита	пачка	рудный горизонт	индекс	мощность в м.	Литологическая колонка	Краткая характеристика пород										
НИЖНИЙ	СОЛЕНОВСКАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	РУДНАЯ	Степновский	$\Phi_3^1 \text{sol}_1^1$	0-40		Глины светло-серые, массивные с ходами илоедов										
									0-27			Глины темно-серые, известковые с рыбными остатками и тонкодисперсным пиритом									
НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	НИЖНЯЯ - РЫБНАЯ	РУДНАЯ	Южно-Буратинский	$\Phi_3^2 \text{kl}_1^1$	0-20		Глины серые с присыпками алеврита, редкими остатками рыб и водорослями										
									0-25			Глины бурые с частыми остатками рыб и т/д пиритом, в основании рудные залежи и сульфидный прослой									
									0-125				Глины бурые с частыми остатками рыб и т/д пиритом, в основании рудные залежи								
									5-20					Глины серые с присыпками алеврита, единичными остатками рыб и водорослями							
									5-150						Глины бурые с частыми остатками рыб и т/д пиритом, в основании рудные залежи						
									25-30							Глины серые с присыпками алеврита, очень редкими остатками рыб и водорослями					
									25-90								Глины бурые с частыми остатками рыб и т/д пиритом, в основании линзовидные рудные тела				
									75-90									Глины серые с частыми присыпками алеврита, очень редкими остатками рыб и водорослями			
									10-100										Глины бурые с частыми остатками рыб и т/д пиритом, в основании линзовидные рудные тела		
									10-30											Глины серые с частыми присыпками алеврита, редкими остатками рыб и водорослями	
									70-100												Глины бурые с частыми остатками рыб и т/д пиритом, в основании линзовидные рудные тела
									60-190												
60-190	Глины зеленовато-серые с прослойками алеврита и водорослевидными остатками																				

Рисунок 3.10. Сводный стратиграфический разрез верхнеолигоценовых отложений Ергенинского района [Шарков, 2008]

Нижний (степновский) рудный горизонт, получил развитие главным образом в зонах наиболее глубоких прогибов на южном и северном флангах района. Вследствие этого глубина залегания месторождений в степновском горизонте, как правило, превышает 300 м и доходит до 1 км (Степновское месторождение). Средний (южнобуратинский) горизонт с глубинами залегания от 30 до 300 м развит преимущественно в зоне Багабурульского прогиба в восточной части района. Верхний (багабурульский) горизонт развит практически по всей площади района,

однако рудные скопления в нем локализованы на сравнительно небольших участках. Глубина залегания месторождений этого горизонта от 0 до 150 м.

Рудные пласты образованы урансодержащим костным детритом, заключённом в глинисто-сульфидном материале. Это относительно маломощные (дециметры, первые метры), но протяженные (многие километры) пластообразные тела, заключенные в мощной глинистой толще. В плане залежи имеют неправильную форму, но обычно с удлинением в каком-либо направлении; реже они являются изометричными. Крупные, многокилометровые залежи в разрезе представлены двумя разновидностями: а) пластово-линзовидной и б) пластовой, односторонне расщепляющейся с выклиниванием в противоположном направлении. Отдельную группу составляют мелкие (до 1–2 км) залежи линзовидного характера, обычно составляющие мозаичные поля или полосы, вытянутые на многие километры.

Основными компонентами органогенно-фосфатных уран-редкометалльных руд являются: костный детрит рыб (фторапатит, франколит), сульфиды железа (пирит с примесью As, Cu, Ni, Mn, сфалерит), глины и карбонаты (кальцит, сидерит).

Состав рудных залежей испытывает весьма существенные колебания по содержанию основных рудообразующих компонентов: костного детрита рыб (P_2O_5), сульфидов железа (S) и глинистого материала (Al_2O_3), а также степени концентрации в них различных металлов. Компонентный состав руд в целом изменяется в следующих крайних пределах (%): P_2O_5 – 1–25; S – 5–29; Al_2O_3 – 1–10; примесь карбонатного материала также непостоянна: CO_2 – 0,5–12,5. Усредненные показатели компонентного состава руд представляются в более сглаженном виде (%): P_2O_5 – 3,9–17,8; S – 5,0–16,0; Al_2O_3 – 3,9–9,0.

Среднее содержание редких земель и урана в костном детрите рудных горизонтов в целом составляет ΣREE – 1,13 %; U – 0,2 %. Наиболее высокие содержания урана отмечаются в фосфорном типе руд, скандия – в фосфатном и смешанного типа, а Re и Mo – в сульфидном (S > 20 %, F_2O_3 > 30, Al_2O около 5 %, CaO около 6 %). Наибольшее количество промышленно ценных элементов (уран, редкоземельные элементы и скандий) связано с фосфатом кальция.

Распределение основных рудных компонентов по различным типам руд ряда месторождений (Шаргадыкское, Южно-Буратинское, Троицкое) приведено в таблице 3.18. Как видно, наиболее высокое содержание Re и Mo характерны для сульфидного типа руд.

На полуострове Мангышлак в Казахстане, где ранее отрабатывалось Меловое месторождение (U, REE, P), содержания Re установлены только в единичных пробах [Столяров, Ивлева, 2008; Минералогия ... , 2010; Шарков, Сидоренко, Алукпанов, 2010], тогда как массовые определения рения в составе руд Калмыкии, полученные только в последнее десятилетие [Тюленева и др., 2013; Тюленева, 2014; и др.].

Таблица 3.18 – Содержание рения и основных, промышленно значимых компонентов в различных типах руд Шаргадыкского, Южно-Буратинского и Троицкого месторождений, % (по данным ГП «Кольцовгеология» и ФГБУ «ВИМС»)

Компонент	Шаргадыкское месторождение			Южно-Буратинское месторождение (фосфорный тип)	Троицкое месторождение (сульфидный тип руд)
	Сульфидный тип руд	Фосфорный тип руд	Смешанный тип руд		
Re	0,0001	0,00006	0,00007	0,00014	0,000098
Mo	0,019	0,0099	0,011	0,017	0,017
U	0,023	0,078	0,043	0,021	0,021
Sc	0,0013	0,0018	0,0019	0,0024	0,001
Y	0,044	0,085	0,066	0,11	0,04
ΣPЗЭ	0,19711	0,38101	0,30742	0,4416	0,1423
P ₂ O ₅	8,2	22,3	14,9	15,8	4,0
Fe ₂ O ₃	31,1	11,9	16,2	14,4	21,2
S	27,5	10,2	12,7	4,6	18,5

Рений постоянно присутствует в рудах ПРР, а его среднее содержание составляет от 0,2–1,4 до 3,98 г/т (Таблица 3.19 - 3.22). Повышенные значения Re (1,5–2 г/т) приурочены к высокосернистым рудам и породам, обогащенным сульфидами железа (сульфидный тип руд S > 20 %, F₂O₃ > 30, Al₂O₃ на уровне 5 %, CaO около 6 %).

Формирование органогенно-фосфатных уран-редкометалльных руд связано с неоднократным проявлением вулканической деятельности (фумаролы, гидротермы, эксплозии), формирование «оазисов жизни» по типу черных курильщиков в мелководной зоне бассейна, где наблюдался расцвет ихтиофауны. Размещение вулканических аппаратов контролировалось тектоническими нарушениями, секущими региональную тектоническую зону – вал Карпинского. Вулканическая деятельность приводила к массовой гибели ихтиофауны [Шарков, 2008; Минералогия..., 2010]. Последующий неоднократный переомыв и переотложение костного детрита рыб на склонах активизированных поднятий приводили к формированию рудных залежей. Рудные залежи располагаются по периферии пологих синседиментационных сводовых поднятий. Осаждение рудных компонентов (и в том числе Re) из флюидов происходило на геохимических барьерах в осадках. Рудные компоненты (и в том числе Re), вероятнее всего поступали в составе подводных эксгаляций, сопровождающих подводные вулканические извержения. Размещение данной ренийсодержащей формации определяются, как литолого-фациальным, палеогеографическим и геохимическими факторами (ассоциация рения с сульфидной частью пород и руд), так и структурным фактором, определяющих положение вулканических аппаратов, форму и расположение сводовых поднятий позднемайкопского палеобассейна.

Таблица 3.19 – Сводная характеристика основных параметров руд месторождений органогенно-фосфатного типа [Столяров, Ивлева, 2008]

Тип м-ния	Название месторождения	Глубина залегания, м	Мощность в м (от – до)	Среднее содержание полезных компонентов и элементов, %							
				P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	S	U	Сумма REE	Y	Sc г/т	Re г/т
Высокофосфорные	Шаргадыкское	0-128	0,25-1,23	13,6/39,65	5,3/15,45	15,4/44,9	0,046/0,1	0,38/0,84	0,074	17	<0,2-1,4
	СВ часть Багабурульского рудного поля	20-77	0,2-1,2	15/57,25	3,5/13,36	7,7/29,39	0,104/0,21	0,52/1,04	0,092	21	<0,2-1,7
	Багабурульское	80-140	0,22-0,9	17,4/55,24	6/19,05	8,1/25,71	0,075/0,13	0,57/0,98	0,045	21	<0,2-0,7
	Северо-Харабулукское	Ср.250	1,07-0,3	10,6/41,56	8,6/33,73	6,3/24,7	0,082/0,24	0,45/1,27	0,108	25	<0,2-1
	Южно-Буратинское	101-180	0,2-0,6	16,5/54,45	4,8/15,84	9/29,71	0,116/0,21	0,57/1,04	0,112	22	0,2-1,1
	Прудовое	130-170	0,2-0,65	17,8/53,29	7/20,96	8,6/25,75	0,16/0,27	0,7/1,18	0,089	23	0,2-0,9
Среднефосфорные	Аршаньское	195-265	0,31-0,62	10,0	-	9,7	0,074/-	0,39/-	0,025	18	-
	Троицкое	Ср. 215	0,25-0,77	7,0/25,27	8,2/29,60	12,5/45,13	0,027/0,12	0,18/0,77	0,036	14	0,3-1,1
Низкофосфорные	Богородское	14-112	0,2-3	5,68/19,87	6,9/24,13	16/56	0,03/0,16	0,2/1,06	0,043	19	<0,2-0,8
	Степное	170-700	0,4-6	4,8/16,96	7,5/26,5	16/56,54	0,05/0,31	0,23/1,44	0,054	18	1-3,98
	Центральное	200-285	0,33-1,5	3,9/15,29	8,8/34,51	12,8/50,2	0,03/0,23	0,15/1,16	0,02	13	<0,2-2,17
	Яшкульское	340-460	0,15-1,23	6,7/22,96	9,98/34,2	12,5/42,84	0,031/0,14	0,32/1,43	0,038	16	<0,2-1,1
	Нургинское	214-278	0,17-1,3	6,6/33,50	8,1/41,12	5/25,38	0,058/0,23	0,33/1,2-1,3	0,024	20	<0,2-0,2

Примечания: 20,7/60,35 – процентное отношение компонентов, для столбца «U» и «сумма REE» 0,043/0,1 – в числителе ср. содержание в руде; знаменатель – в фосфатном веществе. Запасы рения определены в объеме 50 т по категории C₁+C₂ для Шаргадыкского месторождения и в объеме 13 т по кат C₂ для Богородского месторождения.

Таблица 3.20 – Среднее содержание рения и ряда химических элементов и оксидов в рудных залежах месторождений Калмыцкого района, по фондовым и авторским материалам, г/т и в % (для оксидов)

Химический элемент (оксид)	Шаргадыкское (запад) (n = 135)	Шаргадыкское (восток) (n = 27)	Троицкое (n = 11)	Вишневское (n = 18)	Багабурульское (n = 6)	Северо-восточная часть Багабурульского рудного поля (n = 9)	Южно-Буратинское (n = 4)	Прудовое (n = 2)
Re	0,77	0,82	1,04	0,63	0,64	0,66	1,12	0,68
Mo	136,98	150,15	200	132,5	140,17	126,44	161	191,5
U	405,43	251,22	325,5	1246,94	739,6	696,66	1939,5	966,5
Sc	16,36	17,23	12,35	18,64	19,17	12,38	20	20,85
Y	531,62	388,17	469,09	1121,28	690	573,88	1310,21	745
La	518,22	279,49	317,27	807,13	575	446,73	860,66	573,5
Ce	1517,16	503,65	587,27	1402,62	980	794,92	1775,71	982
Pr	151,92	56,48	70,36	146,25	108,67	89,69	212,77	124
Сумма REE	2376,25	1182,77	1598,39	3886,16	2554,73	2138,27	4712,18	2716,74
Al ₂ O ₃	5,19	6,56	7,55	4,9	10,3	6,71	5,10	11,3
Fe ₂ O ₃	19,27	27,76	19,49	9,8	12,56	15,17	11,59	20,85
CaO	18,54	10,62	12,26	28,08	12,79	18,06	25,07	9,78
P ₂ O ₅	12,52	7,33	6,67	18,69	10,56	13,02	15,03	6,62
S	16,88	19,88	15,68	5,65	6,93	6,65	8,09	6,72

Таблица 3.21 – Средние содержания рения в месторождениях Калмыцкого района. По материалам [Столяров, Ивлева, 2008] и данным автора

Тип руд	Название месторождения	Re, г/т		
		по [Столяров, Ивлева, 2010]	Данные автора	
			среднее	от - до
Высоко-фосфорные	Шаргадыкское	<0,2-1,4	0,82 (восток)	0,35-1,2
			0,77 (запад)	0,1-1,5
	СВ часть Багабурульского рудного поля	<0,2-1,7	0,66	0,18-1,1
	Багабурульское	<0,2-0,7	0,64	0,34-1,1
			0,63	0,41-0,85
	Северо-Харабулукское	<0,2-1		
Южно-Буратинское	0,2-1,1	1,12	0,78-1,3	
	Прудовое	0,2-0,9	0,68	
Средне-фосфорные	Аршаньское	-		
	Троицкое	0,3-1,1	1,04	0,66-1,4
Низко-фосфорные	Богородское	<0,2-0,8		
	Степное	1-3,98		
	Центральное	<0,2-2,17		
	Яшкульское	<0,2-1,1		
	Нургинское	<0,2-0,2		

Таблица 3.22 – Средние содержания Re и ряда химических элементов в типовых разностях пород ряда рудных залежей Калмыцкого района, ИСП МС, г/т

Элемент	Вишневское		Багабурульское + Север-вост. часть БРП	СВ часть БРП +Прудовое	Шаргадыкское запад		Шаргадыкское восток		Пределы обнаружения
	Г (n = 1)	КД (n = 1)			Г (n = 2)	КД (n = 2)	Г (n = 3)	КД (n = 2)	
Re	0,02	0,64	0,03	0,77	0,005	0,49	0,01	0,84	0,005
U	7,15	991	18,5	743,5	4,22	191,50	6,40	160,75	0,1
V	163	79,2	192	106,3	159,33	68,55	174,33	103,33	2,5
Mo	18,6	122	47,1	193,5	1,44	65,5	5,06	133	0,6
Cu	54,6	78,8	57,9	149,8	45,8	255	51,03	380,75	1
Co	26,5	94,7	28,3	159,5	21,5	205	23,67	546,75	0,5
Ni	61,9	263	81,1	313	53,93	348	59,23	879,5	1
Zn	151	379	132	733,5	128	451,5	140,67	965,75	1
Pb	23,5	32,4	25,3	65,6	25,67	43,65	24,87	85,75	1
Bi	0,43	0,76	0,49	1,05	0,46	0,97	0,47	1,86	0,1
Cd	0,56	5,7	0,43	6,075	0,17	8,8	0,32	10,93	0,1
Sb	1,48	14,3	7,75	24,75	0,88	11,80	1,13	30,43	0,1
As	11,4	84,7	24,5	139,5	4,56	130,75	7,96	366,50	1
Ag	0,1	0,38	0,09	0,625	0,07	0,40	0,08	0,56	0,01
Hg	0,04	0,06	0,05	0,082	0,06	0,08	0,04	0,04	0,015
Se	2,45	58,8	2,33	44,85	2,30	34,05	2,40	29,98	0,3
Tl	0,6	1,27	0,82	4,745	0,54	4,95	0,62	11,49	0,1
Sc	24,8	23,5	21,1	21,65	21,27	14,16	23,43	14,33	0,2

Продолжение таблицы 3.22.

Элемент	Вишневокское		Багабурульское + Север-вост. часть БРП	СВ часть БРП +Прудовое	Шаргадыкское запад		Шаргадыкское восток		Пределы обнаружения
	Г (n = 1)	КД (n = 1)			Г (n = 2)	КД (n = 2)	Г (n = 3)	КД (n = 2)	
Ge	1,14	5,04	1,24	5,555	1,24	1,59	1,52	2,04	0,1
Sr	120	1940	128	1515	112,00	537,50	95,43	324,25	1
Ba	324	1060	343	1255	294,00	142,95	303,00	221,25	3
Au	<0,002	0,02	0,01	0,029	<0,002	0,031	<0,002	0,04	0,002
C орг %	0,43	1,41	0,24	0,93	0,40	0,00	0,32	0,02	0,03
S сул %	1,26	6,96	1,5	9,27	0,77	9,49	0,73	22,63	0,005

Примечание: Г – глина серая, КД – Костный детрит, n – количество проб.

3.3.5. Медистых песчаников и сланцев

Объекты данной формация известны в Германии (Мансфельд (Cu), мульда Зангерзхаузен (Cu)) [Knitzschke, 1961] в Польше (Любин-Серошовице (Cu, ЭПГ, V)) [Гурская, 2000], Казахстане (Джезказган (Cu, Pb, Zn, Mo, Ag)) [Калинин, Файн, 1977]. В России, и в частности, на территории ВЕП и прилегающих районов распространена ограниченно. Так, они установлены в пермских отложениях востока ВЕП на территории Вятской (проявления «Сарманово», «Гребени», «Мамадыш» (Cu, Ag) [Поплавко и др., 1977; Енгальчев, 2019г] и Альметьевской меденосных площадей, в Приуралье [Геология..., 1999; Чайкин и др., 2004]; на западе Складчатого Донбасса в Бахмутской котловине [Металлические ..., 2005]; в разрезе верхней перми (саснавская свита). Калининградской области [Енгальчев, 2019г].

В восточной части ВЕП выделяется три меденосные зоны (полосы): Приуральская и Вятско-Камская, и Южно-Уральская. Они изучены на рений неравномерно, однако, все медистые песчаники этих зоны обладают комплексной металлоносностью Cu, Ag, Re, ЭПГ [Геология..., 1999; Чайкин и др., 2004].

1. Вятско-Камская меденосная полоса. Стратиформное медное оруденение (медистые песчаники и сланцы) приурочено к лагунно-континентальной глинисто-терригенной красноцветной формации уфимского яруса, морской песчано-карбонатно-глинистой формации нижнеказанского подъяруса, озерной карбонатно-глинисто-песчаной пестроцветной формации верхнеказанского подъяруса и континентальной пестроцветной карбонатно-песчаной пестроцветной формации татарского яруса [Наркелюн и др., 1983; Демина, Тараборин, 2006]. Располагается на глубинах от 0 до 500 м.

Выделяется ряд меденосных площадей (с северо-запада на юго-восток): Вятская, Альметьевская, Белебеевская, Стерлибашевская, Каргалинская, Салмышская, Островнинско-Вязовская, Актюбинская, Сакмаро-Дмитриевская [Халезов, 2011]. Иногда их объединяют в две меденосные зоны: северную – Вятско-Камскую и южную – Южно-Уральскую. Первая включает

Вятскую, Альметьевскую и Белебеевскую меденосные площади, а Южно-Уральская – все остальные [Наркелюн и др., 1983].

Медное оруденение присутствует только в сероцветных разностях пород, обогащенных органическим растительным веществом. Часто оно фиксируется в сероцветных породах на контакте с окисленными породами или вблизи него. Такие участки контакта меденосных серо- и красноцветных пород характерны для отложений, сформированных в переходные зоны от континента к морю [Лурье, 1988], а также при залегании толщи сероцветных отложений на красноцветных, или же в случае проявления наложенного окисления сероцветных пород.

Выделяется три основных типа стратиформных медных руд.

1. Медное оруденение, образующее протяженные залежи пластообразной формы и сосредоточено в сероцветных песчаниках с карбонатно-глинистым цементом и аргиллитах в базальном горизонте морских сероцветных отложений казанского яруса, залегающих на размытой поверхности озерно-аллювиальных первично-красноцветных отложений уфимского яруса. Содержания Cu изменяется от сотых долей до 1–1,5 % на мощность 0,1–1,2 м.

2. Оруденение связано с переслаиванием серо- и красноцветных пород и имеет в разрезе лентовидную форму. Такое оруденение характерно для отложений казанского яруса, в частности для нижнеказанских сероцветных отложений, залегающих под красноцветами верхнеказанского подъяруса. Мощность рудных тел достигает первых метров. Содержания Cu изменяются от сотых долей до 1–1,5 %.

3. Медное оруденение приурочено к отложениям палеорек. Распространено в отложениях уфимского и татарского ярусов, отмечаются в породах верхнеказанского подъяруса. Протяженность рудных тел измеряется сотнями метров, редко достигает первых километров. Ширина их – 200–300 м при мощности 0,5–5 м, содержание Cu в рудах – от сотых долей до 1 %. Запасы меди в них невелики.

Медные руды сложены борнитом, халькозином, халькопиритом, а на участках поверхностного окисления замещены азуритом и малахитом. Содержание Cu в песчаниках в среднем составляет 1,5–2 % и варьирует в зависимости от вещественного состава пород: в конгломератах – до 12 %, в песчаниках – 2–2,5 %, в мергелях и глинистых сланцах – 2–4 %, в известняках – до 1,5 %. В медистых песчаниках содержатся V (до 1 %), Ag (до 10 г/т), Pb и Zn (до 2–3 %), Cd, Ge, Se, Te, Co, Re [Наркелюн и др., 1983]. Ранее в отвалах Каргалинского проявления меди (Каргалинская меденосная площадь) в штучных пробах мелкозернистых и среднезернистых медистых песчаников были установлены следующие содержания платины и ряда редких элементов (г/т): платина – 18,3 и 20–70, палладий – 13,8 и 2,93–23, родий – 0,27 и 0,76–6,65, рутений – 0,46 и 1–7,73, иридий – 20,5 и 1,3–7,42, золото – 2,37 и 7,7–25,8, серебро – 22,4 и 57–267 [Халезов, 2011]. В медных рудах на территории Татарстана [Геология ... , 1999;

Месхи, Чайкин, 2003; Чайкин и др., 2004; Закирова, 2006; Закирова и др., 2009], а также Оренбургской области [Волков и др., 2018] были выявлены повышенные содержания благородных металлов (платина, палладий).

Ранее на рений были исследованы три разреза – «Сарманово», «Муслюмово» и «Гребени» [Поплавко и др., 1977]. Первые два расположены на Альметьевской меденосной площади, а последний – в южной части полосы на Салмышская меденосная площадь. Рений определялся кинетическим методом (чувствительность определения – $3-5 \cdot 10^{-7} \%$).

В последние годы автором проанализированы на Re ряд редких элементов, в типовых разностях медистых песчаников северной части Вятской (участок Кукмор, Мамадыш, Шемордан) и Альметьевской меденосной зоны (участок Сарманово, Азнакаево и рудное поле Чатыр-Тау).

В медистых песчаниках *Вятской меденосной полосы* автором с использованием растрового электронного микроскопа, было выявлено присутствие не только минералов меди (ковеллин, тенорит, в том числе с примесью Ag, хризоколла, халькозин, в том числе с примесью Ag, делафоссит), но минералов серебра - акантита, аргентита, в том числе с примесью Cu, а также ванадата и диклуазита. Минеральные формы Re не установлены.

Как видно из таблицы 29, наиболее высокие содержания Re установлены в медистом сланце участка Мамадыш – 0,22 г/т, на участках Кукмор и Шемордан 0,02–0,12 г/т. При этом в образцах, кроме меди, фиксируются повышенные концентрации (г/т): V (80,1–558), Se (3,76–62,8) и Ag (20,5–961).

В восточной части *Альметьевской меденосной площади* располагается ряд участков: Муслюмово, Сарманово и Азнакаево и рудное поле Чатыр-Тау.

Участок *Муслюмово* расположен в пределах Северо-Татарского свода в зоне преимущественного развития красноцветных континентальных отложений, представленных известковистыми аргиллитами с маломощными прослоями более грубозернистых сероцветных пород песчаников и алевролитов. В сероцветных породах содержатся тончайшие прожилки и многочисленные включения черного асфальтоподобного вещества. В сероцветных медистых песчаниках и алевролитах участка накапливаются Cu, Ag, а также Re, Mo, Pb. Наиболее высокие концентрации рения до 0,01 г/т фиксируются в алевролитах.

Участок *Сарманово* приурочен к зоне перехода морских сероцветных терригенно-карбонатных отложений лингулового горизонта в континентальные отложения. Меденосные породы участка сложены серыми известковистыми рыхлыми полимиктовыми песчаниками, алевролитами и известняками. Широко распространен глобулярный пирит в виде рассеянной вкрапленности, прожилков и линз. Медная минерализация представлена халькозином, реже борнитом и халькопиритом. В сероцветных породах присутствует существенная примесь

органического материала в виде битуминозного пигмента, волосовидных прожилков и ксеноморфных включений асфальтоподобного вещества.

На участке Сарманово по данным [Поплавко и др., 1977] отмечаются повышенные концентрации Cu (до 0,5 % в сероцветных песчаниках на контакте с красноцветными), а также Re (0,01–1 г/т) и Ag.

По результатам анализов проб с участка установлены содержания Re от 0,007 до 0,035 г/т (Таблица 3.23, 3.24). Он ассоциирует с Cu, V, Ag, Se, а в пробах выявлены повышенные концентрации Hg и Au. Наиболее высокие концентрации рения были выявлены на территории рудного поля Чатыр-Тау. Концентрация рения в медных рудах достигает 0,42 г/т (Таблица 3.24).

Таблица 3.23 – Содержание рения и ряда химических элементов в меденосных породах Вятской меденосной площади (участки Мамадыш, Шемордан, Кукмор) по авторским данным, ИСП МС, г/т

Участок	«Мамадыш»		«Шемордан»		«Кукмор»	Предел обнаружения
	медистый сланец	медистый песчаник	песчаник с расти-тельными остатками	Сульфидная конкреция		
Re	0,22	0,098	0,12	0,02	0,12	0,005
U	10,9	6,4	1,49	4,91	18,8	0,1
V	514	80,1	111	558	86,5	2,5
Mo	44,1	3,54	30,7	5,54	14,8	0,6
Cu	199000	19700	676800	427700	499700	1
Co	35,4	23,1	24,5	8,21	0,63	0,5
Ni	19,5	47,2	10,3	18,6	1,66	1
Zn	11,8	32	6,05	18,5	1,92	1
Pb	450	21,1	456	312	207	1
Bi	<0,1	<0,1	0,1	0,63	<0,1	0,1
Cd	1,75	0,5	<0,1	1,89	0,25	0,1
Sb	5,92	1,04	1,41	1,99	0,6	0,1
Ag	961	20,5	887	504	463	0,01
Se	31,4	3,76	18,6	62,8	19,4	0,3
Tl	0,98	0,4	5,85	0,12	0,17	0,1
Sc	0,97	7,88	0,57	2,38	0,98	0,2
Ge	45	5,89	0,14	1,66	1,95	0,1
Sr	837	151	637	375	563	1
Ba	10800	305	2880	2060	4890	3
Au	0,01	<0,002	0,014	0,1	0,018	0,002
Pt	0,037	0,0059	0,01	0,071	0,09	0,002
Pd	0,12	0,0025	0,0051	0,092	0,16	0,002

Таблица 3.24 – Содержание рения и ряда химических элементов в медистых песчаниках восточной части Альметьевской площади (участки Сарманово, Азнакаево, рудное поле Чатыр-Тау) по авторским данным, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Сарманово			Азнакаево	Рудное поле Чатыр-Тау	Предел обнаружения
Re	0,091	0,007	0,035	<0,005	0,42	0,005
U	40,1	15,2	6,25	24,5	9,51	0,1
V	180	217	189	155	60,9	2,5
Mo	7,96	0,8	13,6	0,83	30,7	0,6
Cu	475100	66500	369000	22000	435500	1
Co	3,66	80,5	3,71	12,5	22,7	0,5
Ni	26,8	217	13,8	32,3	16,3	1
Zn	17,6	98,6	10,4	18,1	6,37	1
Pb	85,6	346	99,2	7,4	434	1
Bi	0,16	<0,1	0,52	<0,1	<0,1	0,1
Cd	0,29	4,7	2,72	0,15	0,56	0,1
Sb	3,95	0,42	0,61	0,14	1,32	0,1
As	10,5	3,08	нд	нд	нд	1
Ag	626	334	841	88	1130	0,01
Hg	8,65	2,77	нд	нд	нд	0,015
Se	29,2	2,54	24,2	0,36	26,9	0,3
Tl	1,82	0,2	4,18	<0,1	2,42	0,1
Sc	4,07	12,3	2,48	2,49	0,83	0,2
Ge	9,92	6,92	0,59	1,12	7,12	0,1
Sr	2320	151	33300	148	425	1
Ba	12700	281	28700	416	6120	3
Au	0,11	0,034	0,03	0,054	0,019	0,002
Pt	0,082	0,0089	0,02	0,33	0,075	0,002

В южной части Вятско-Оренбургского ПРР в пределах Салмышской меденосной полосы располагается проявление Гребени, ранее опробованное на Re [Поплавко и др., 1977]. Содержания Re в рудах от 0,1 до 3 г/т. Невысокие содержания рения (0,05–0,1 г/т) характерны для доломитовой, известняковой, алевроитовой и песчаной составляющей разреза, тогда как повышенные содержания рения (до 3 г/т) фиксировались в аргиллитовых битуминозных породах, перекрывающих медистые песчаники. В пробах также установлены высокие содержания Cu, Ag, Bi, Cd и Tl [Волков и др., 2018].

Анализ материалов по геохимии меденосных пород показал, что повышению содержания Cu всегда сопутствует накопление Ag и Re. Для других элементов такой связи не установлено.

Содержание Re в медистых песчаниках и сланцах данного ПРР составляет от 0,007 до 0,42 г/т, а по данным предшественников – до 3 г/т (участок «Гребени»). Рений ассоциирует с Ag, Se, V, Mo, Cd и благородными металлами (Pt, Pd, Au). Рассматриваются два источника рения: 1) Уральская складчатая система, продуцирующая в позднепермское время обломочный материал, слагающие пермские терригенные отложения; 2) воды и рассолы глубинной циркуляции (в том числе термальные и металлоносные), сопровождающие нефтяные месторождения.

В размещении рассматриваемой формации в осадочном чехле отчетливо проявлен литолого-стратиграфический контроль, так как оруденение приурочено к определенным стратиграфическим подразделениям. При этом в вертикальном разрезе меденосного комплекса отложений оруденение может размещаться на нескольких уровнях в виде пластов и протяженных линзовидных тел.

Обращает на себя внимание приуроченность в размещении меденосных полос на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, углеводороды которой по сравнению с другими провинциями России имеют рениевую специализацию [Готтих, Писоцкий, Журавлев, 2008].

Меденосные площади проецируются на своды Волго-Уральской антеклизы или их склоны. Так, Вятская площадь приурочена к Северо-Татарскому своду, а Альметьевская, Белебеевская, Стерлибашевская – к восточной части Южно-Татарского свода, а Каргалинская, Салмышская - к восточной части Оренбургского свода.

2. Бахмутская котловина (Складчатый Донбасс). Медистые песчаники и сланцы, известны в пределах Бахмутской и северной части Кальмиус-Торецкой котловин, в зоне сочленения Днепровско-Донецкой впадины и Складчатого Донбасса [Наркелюн и др., 1983; *Металлические ...*, 2005] (Рисунок 3.11).

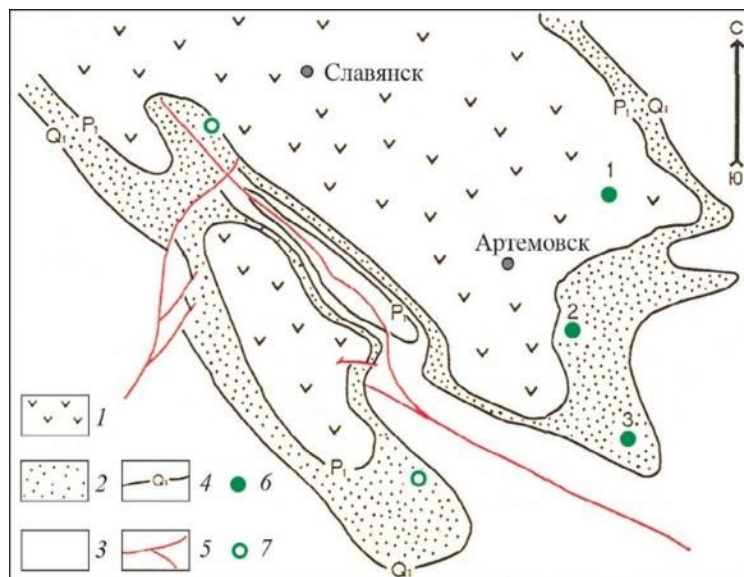


Рисунок 3.11. Схема расположения проявлений меди в отложениях нижней перми западного Донбасса [Металлические ..., 2005]

1–3 – геологические формации: 1 – галогенно-карбонатно-терригенная (никитовская, славянская, краматорская свиты, нижняя пермь), 2 – терригенная красноцветная (картамышская свита, нижняя пермь), 3 – паралическая песчаниково-глинисто-карбонатная угленосная (нижний–верхний карбон); 4 – маркирующие известняки в подошвах свит и их индексы; 5 – тектонические нарушения; 6 – проявления меди (1 – Берестянское, 2 – Иванградское, 3 – Гладосовское); 7 – проявления медной минерализации.

В южном крыле Бахмутской котловины углы падения пород нижней перми составляют 25° – 40° , а северном крыле – 8° – 10° . В центральной части котловина осложнена Артемовской антиклиналью. Осадочные комплексы пород нарушены крупными разрывными нарушениями северо-западного и северо-восточного простираний. В северо-западной части Бахмутской котловины располагается серия диапировых солянокупольных структур.

Стратиформное медное оруденение (мансфельдского типа) локализовано в нижней части разреза нижней перми. Рудоносные горизонты приурочены к нескольким свитам: картамышской, никитовской, славяновской, но только в первой из них медное оруденение имеет промышленное значение.

Медное оруденение, приуроченное к зеленовато-серым песчаникам и алевролитам картамышской свиты. Мощность свиты 500–1200 м. На северо-востоке котловины одновозрастные отложения представлены терригенной толщей с пластами доломитов и известняков. Здесь выделяется девять рудоносных горизонтов, приуроченных к мелкозернистым песчаникам, алевролитам, серым аргиллитам (медная минерализация), известнякам и доломитам (свинцово-цинковая минерализация). Содержание меди от 0 до 5,5 %. Мощность рудоносных горизонтов изредка достигает 20–30 м, но обычно не превышает 3–5 м. Отложения картамышской свиты сформировались в континентальных условиях предгорных и прибрежно-морских равнин при господстве семиаридного климата [Грабянская, 1974].

Мощность рудных тел от 0,25 до 2,9 м, в среднем 0,45–0,97 м на различных участках. Рудные залежи имеют линзовидную и пластовую формы. В пределах Берестянского проявления выделяется протяженная (до 35 км) рудоносная полоса [Литолого-фациальные, 1985]. Содержание Cu от 0,41 до 2,4 %, в среднем 0,46–0,72 %.

Рудная минерализация представлена преимущественно халькозином (вкрапленность размером 0,1–0,2 мм), борнитом и халькопиритом, реже присутствуют ковеллин, куприт, самородная медь, а также галенит, сфалерит, гринзokit, пирит, акантит, малахит, азурит, лимонит. Руды мелко-вкрапленные, гнездово-вкрапленные, редко – прожилково-вкрапленные. В медных рудах на проявлении установлены следующие элементы-спутники: Zn, Pb, Ni, Ga, Ag, Re, Au, Rb [Шумлянський, Солецкі, 1999]. Содержание рения в медистых песчаниках требует уточнения с использованием современных методов.

Для медистых песчаников и сланцев (Приуралье, Донбасс), содержащих рений (а также Au, Ag, ЭПГ), можно полагать, что рений совместно с медью поступал из областей сноса и концентрировался в составе обломочных минералов, которые в последующем прошли диагенетические изменения. Важно отметить, что, кроме того, в качестве дополнительного источника рассматриваются глубинные подтоки рудного вещества [Волков и др., 2018], в том числе связанные с разгрузкой флюидов (возможно с участием углеводородов). В пользу

последнего указывают пространственное совмещение углеводородных залежей и областей развития медистых песчаников в Приуралье и медистых песчаников на Донбассе в краевой части Днепровско-Донецкой впадины.

3. Меденосные углистые алевролиты саснавской свиты Калининградской области.

На территории Балтийской синеклизы располагается краевая часть крупного европейского цехштейнового седиментационного бассейна (Рисунок 3.12), к осадочным комплексам которого приурочены стратиформные медно-полиметаллические, в том числе ренийсодержащие месторождения Польши и Германии [Гурская, 2000].

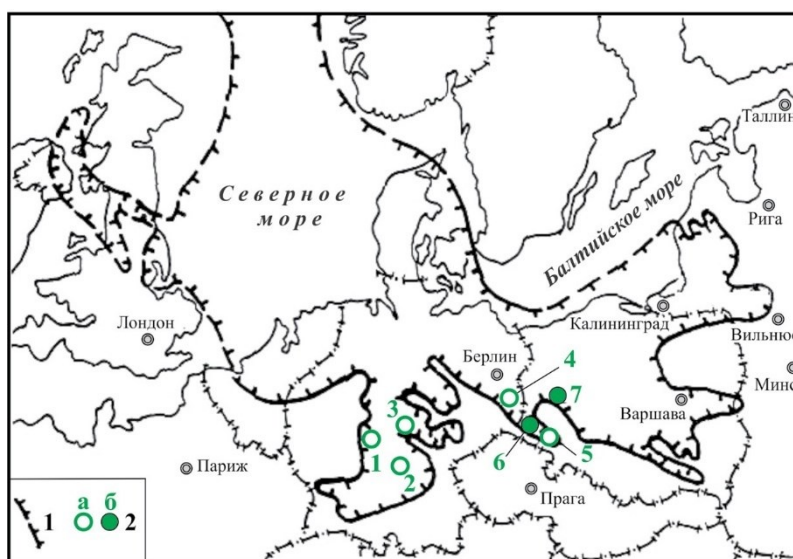


Рисунок 3.12. Схема распространения отложений цехштейна в Европе и стратиформных медно-полиметаллических месторождений Польши и Германии. Составлена автором с использованием [Geology of Poland, 1990]

1 – граница распространения отложений цехштейна; 2 – медно-полиметаллические месторождения: а – отработанные и забалансовые (1 – Райхельсдорф, 2 – Эйзенах, 3 – Мансфельд, Зенгерхаузен, 4 – Лужиц, 5 – Лена, Новы Косьцюл, б – действующие рудники (6 – Конрад, 7 – Любин-Серошовице).

Разрез цехштейна Калининградского региона, как и в соседней Польше, представлен комплексом соленосных терригенно-карбонатных отложений, в составе (снизу-вверх) калварийской, саснавской, науаякмянской, прегольской, жальгирайской, пасленкской, галиндаской и мамоновской свит. Первые три свиты – калварийская, саснавская, науакмянская – слагают единую, циклично построенную серию, разрез которой начинается с конгломератов и крупнозернистых песчаников, которые вверх по разрезу постепенно сменяются мелкозернистыми кварцевыми и кварц-полевошпатовыми песчаниками и алевролитами (калаврийская свита) мощностью до 5 м, чаще 2–3 м. Выше согласно залегает саснавская свита, представленная черными углистыми глинисто-карбонатными породами мощностью 1–3 м. Они в свою очередь перекрыты серыми и светло-серыми карбонатными

породами (доломиты, доломитистые известняки, известняки и мергели) науаякмянской свиты. В нижней части этой свиты преобладают темные глинистые известняки, а в верхней – серые доломитизированные известняки с сульфатами. Мощность свиты на большей части территории – около 10 м, а юго-востоке области – 50–70 м. Отложения науаякмянской свиты перекрыты толщей эвапоритов (ангидриты, каменная соль с прослоями калийно-магниевого) прегольской свиты, мощностью 270–280 м.

Отложения саснавской свиты коррелируются с меденосной пачкой, а прегольская свита с галогенной толщей Нижней Силезии.

Саснавская свита верхней перми (P_{3ss}) (нижневятский подъярус), развита почти на всей территории Калининградской области, за исключением северо-западной части шельфа и самой юго-восточной части суши. Разрез представлен темно-серыми или черными, меденосными глинисто-карбонатными породами (сланцами, глинистыми алевролитами и др.), часто с высоким (4–6 до 20 %) содержанием органического углистого материала. Количество битумов в породах не превышает 0,4–0,6 %. По составу ОВ соответствует семивитриниту с микровключениями инертинита (микринита, семифюзенита), коллонита и литинита [Загородных и др., 2001]. Углистые сланцы состоят из тонких прослоев глинистого вещества (слюдисто-монтмориллонитового) и доломита. В песчано-алевритовой фракции пород присутствуют ильменит, циркон, магнетит: единичные зерна арсенопирита, киновари, апатита, малахита, лимонита, анатаза. В породах свиты присутствует тонкая рассеянная вкрапленность сульфидов (пирит, реже халькопирит, ковеллин, сфалерит, галенит) содержание которых изменяется от десятых долей до первых процентов. Мощность свиты не превышает 1–3 м.

В породах саснавской свиты отмечаются повышенные содержания (%) меди 0,5–0,7, цинка 1,5, свинца 0,5–1,3, молибдена 0,3–0,5, ванадия 0,5–0,7 и серебра 30 г/т. В этих породах часты повышенные содержания редких элементов (г/т): Se 100–200, Bi 5–10 до 70, Cd 100–200 до 1000, Tl 10–15, REE 200–700, U 500 [Гурская, 2000]. Количество платиновых металлов и золота в изученных пробах незначительно и составляет в среднем 50–100 мг/т. Однако, известно Зареченское благороднометальное проявление, на котором содержание платины составляет до 0,75 г/т, палладия до 0,06 г/т, золота до 0,085 г/т, серебра 30 г/т [Гурская, 2000; Загородных, 2000].

В меденосных углисто-карбонатных сланцах и алевролитах саснавской свиты также известны проявления свинца и цинка: Зареченское, Славское, Весновское, Неманское [ГГК, N-34 ..., 2011]. Рудные тела не оконтурены. Рудная минерализация представлена следующим минералами: галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, иногда борнит.

По разрезам девяти скважин автором были получены сведения о содержании Re и ряда редких элементов в породах саснавской свиты (Рисунок 3.13). Изменчивость содержаний рения

показана на двух, наиболее представительных разрезах – скважина 32 «Весново» и 2Д «Дворики» (Рисунок 3.14, Таблица 3.25, 3.26).

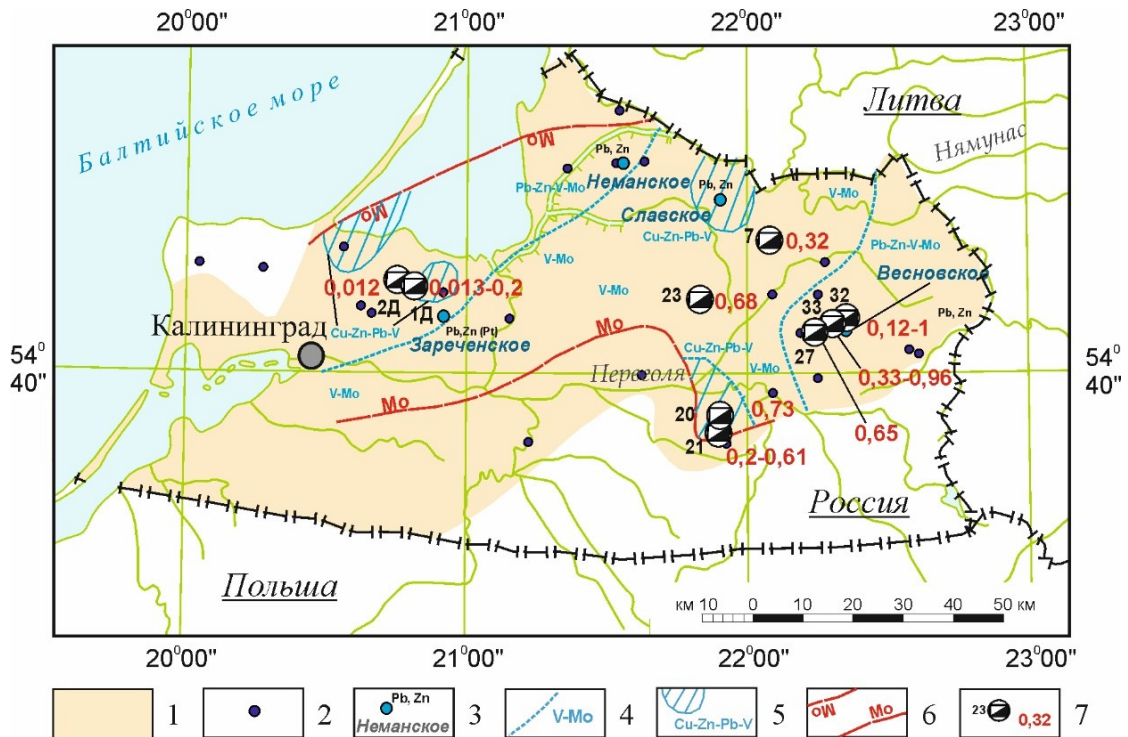


Рисунок 3.13. Схема размещения рудных объектов в отложениях верхней перми в Калининградской области

1 – область распространения рудовмещающих отложений саснавской свиты на территории Калининградской области; 2 – скважины, вскрывшие разрез саснавской свиты; 3 – проявления цветных металлов; 4, 5 – области с различной геохимической специализацией пород саснавской свиты: 4 – ассоциация Mo-V и Pb-Zn-V-Mo, 5 – ассоциация Cu-Zn-Pb-V; 6 – область повышенных (более 100 г/т) содержаний Mo в породах саснавской свиты, за его пределом – содержание Mo менее 100 г/т; 7 – опробованные скважины, номер скважины и содержание рения в породах саснавской свиты (г/т).

Содержания Re и других химических элементов в породах саснавской свиты, приведены в таблицах 3.25 и 3.26. Установлено, что среднее содержание Re в породах свиты составляет 0,08–0,73 г/т, а наиболее высокие значения характерны для разрезов юго-восточной части региона. Для пород характерны высокие средние концентрации Se (5,06–44,2 г/т), Mo (16,8–340 г/т), а в единичных разрезах – Ag, Zn, Pb и Tl.

Для углистых пород саснавской свиты, установлены значимые как положительные, так и отрицательные корреляционные связи рения с другими элементами ($n = 22$, $P = 0,05$, $r =$ более 0,42). Положительные связи выявлены для следующих элементов: V (0,93), Se (0,92), Tl (0,91), $S_{орг}$ (0,88), Mo (0,85), Ni (0,84), Sb (0,81), Cr (0,77), Cu (0,74), U (0,73), Pb (0,68), Ge (0,67), отрицательные для Sr (–0,62).

Таблица 3.25 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в основных типах пород рудоносного интервала в скважинах

32 «Весново» и 2Д «Дворики» Калининградского ПРР, ИСП МС, г/т

Скважина	Скважина 2Д «Дворики»			Скважина 32 «Весново»					Предел обнаружения
	Свита	п	с	к	п	н	с		
Химический элемент	ангидрит темно-серый (n = 4)	алевролит черный (n = 3)	песчаник красноцветный (n = 1)	ангидрит светло-серый (n = 3)	известняк светло-серый (n = 3)	черный алевролит глинистый (n = 3)	черный алевролит (n = 3)	песчаник красноцветный (n = 3)	
Re	<0,005	0,077	<0,005	<0,005	0,01	0,217	0,76	<0,005	0,005
U	1,82	7,18	2,6	0,88	3,46	8,70	18,64	1,37	0,1
V	13,66	138,7	24,4	10,71	46,13	235,67	563,00	19,17	2,5
Mo	0,67	16,81	<0,6	<0,6	5,07	30,06	216,93	1,97	0,6
Cu	9,52	37,90	2,78	13,70	14,22	27,80	59,07	14,20	1
Co	3,67	28,63	1,45	<0,5	8,14	18,40	30,67	5,04	0,5
Ni	13,97	76,00	2,11	<1,0	25,07	71,47	115,53	5,50	1
Zn	5,28	89,23	6,38	4,11	11,68	34,40	2516,97	16,29	1
Pb	17,37	56,60	5,40	<1,0	13,43	90,13	939,00	7,09	1
Bi	<0,1	0,21	<0,1	<0,1	0,13	0,22	0,22	0,11	0,1
Cd	<0,1	1,69	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	14,61	<0,1	0,1
Sb	0,25	1,61	<0,1	<0,1	0,38	1,64	3,24	0,23	0,1
As	н/д	н/д	н/д	2,58	н/д	38,67	39,87	н/д	1
Ag	н/д	н/д	н/д	0,02	н/д	0,10	0,19	н/д	0,01
Hg	н/д	н/д	н/д	<0,015	н/д	0,04	0,08	н/д	0,015
Se	0,41	5,06	1,34	<0,3	0,97	14,99	29,63	1,1	0,3
Tl	0,63	1,94	0,13	<0,1	0,30	н/д	4,42	0,11	0,1
Sc	0,83	6,39	4,59	<0,2	3,59	7,93	6,47	1,81	0,2
Ge	0,19	0,90	1,02	<0,1	0,43	0,90	1,29	0,85	0,1
Sr	991,50	125,33	49,20	514,00	121,00	116,30	99,30	38,10	1
Ba	82,00	211,33	194,00	49,60	126,40	243,33	201,33	107,77	3
C орг%	0,02	0,75	0,28	0,07	0,03	2,11	9,88	0,19	0,03
S сул %	н/д	н/д	н/д	6,13	н/д	2,19	2,58	н/д	0,03

Примечание: Названия свит: п - прегольская, н - науаякмянская, с - саснавская, к - калварийская, нд – нет данных.

Таблица 3.26 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в черных углеродистых алевролитах и сланцах саснавской свиты верхней перми на территории Калининградского ПРР, ИСП МС, г/т

Скважина	Северо-западная часть области		Юго-восточная часть Калининградской области						Нижние пределы
	2Д	С-7	С-20	С-21	С-33	С-23	С-32	С-27	
Хим. элемент	алевролит черный	сланец серый глинистый	сланец черный глинистый			алевролит черный			
n	(n = 3)	(n = 1)	(n = 1)	(n = 2)	(n = 5)	(n = 1)	(n = 6)	(n = 1)	
Re	0,08	0,32	0,73	0,41	0,66	0,68	0,49	0,65	0,005
U	7,2	10,9	13,0	19,8	13,1	28,4	13,7	12,7	0,1
V	138,7	286,0	656,0	491,0	498,6	761,0	399,3	417,0	2,5
Mo	16,8	95,6	166,0	203,4	154,2	340,0	123,5	190,0	0,6
Cu	38	21	53	38	40	59	43	30	1
Co	28,6	11,1	21,9	12,9	50,0	20,4	24,5	17,2	0,5
Ni	76	56	153	118	124	161	94	112	1
Zn	89	32	1260	33	204	44	52	124	1
Pb	57	39	166	105	1399	410	515	3600	1
Bi	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,5	0,1
Cd	1,7	<0,1	6,0	0,3	1,6	0,5	3,0	1,1	0,1
Sb	1,6	1,9	2,0	2,5	3,2	3,4	2,4	6,2	0,1
As	н/д	14	25	34	39	183	39	42	1
Ag	н/д	0,74	50,80	5,17	0,38	0,39	0,14	0,15	0,01
Hg	н/д	0,050	0,150	0,187	0,106	0,170	0,061	0,110	0,015
Se	5,06	19,40	44,20	27,10	32,70	40,60	22,31	29,10	0,3
Tl	1,9	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	4,4	н/д	0,1
Sc	6,4	6,5	7,1	6,2	7,7	7,0	7,2	4,9	0,2
Ge	0,90	0,71	1,12	0,93	1,024	1,44	1,1	0,78	0,1
Sr	125	114	114	103	105	85	108	109	1
Ba	211	179	210	188	232	210	222	163	3
C орг %	0,75	2,76	10,78	9,55	8,34	16,46	5,99	9,86	0,03
S сул %	н/д	1,15	3,09	2,43	2,38	5,35	2,4	1,88	0,03

Формирование углистых алевролитов и аргиллитов саснавской свиты происходило в краевой мелководной шельфовой зоне «цехштейнового» бассейна. Областью сноса с южной стороны мог служить Мазурско-Белорусский выступ, а с северной – красноцветы девона развитые на Среднелитовской возвышенности.

Накопление Re в породах свиты происходило на синдиагенетическом этапе. Рений, в ассоциации с Se, Tl, Mo, а также V, Ni, Sb, Cr, Cu, U накапливался в породах богатых органическим веществом. Важно отметить, что повышенные содержания Re в породах свиты тяготеют к краевой части субширотного Прегольского прогиба, проявленного в рельефе фундамента, что может указывать на подток рудного вещества в седиментационный бассейн с глубин.

В осадочном чехле южной части Балтийской синеклизы (и в частности, территории Калининградской области) установлены многочисленные разрывные нарушения, некоторые из которых являлись каналами при внедрении позднепалеозойских магматических пород основного состава, установленных в осадочном чехле [ГГК N-34 ... , 2011]. Некоторые их разрывных нарушений были многократно активизированы, в том числе на неотектоническом этапе. Поэтому они могут рассматриваться в качестве «каналов» для эксфильтрации флюидов (термальные воды, рассолы, углеводороды), участвующих в переотложении рудного вещества в осадочном чехле.

Развитие в данном регионе термальных вод [Карта топливно-энергетических..., 2008; ГГК N-34..., 2011], а также наличие залежей солей позволяет рассматривать возможность извлечения редких элементов (и в том числе подвижного Re), из пород осадочного чехла (в том числе силурийских углеродистых сланцев) агрессивными рассолами. Мощные залежи солей и ангидритов, находящиеся в осадочном чехле с одной стороны, являются мощным флюидоупором способствующим консервации «подсолевых» рудоносных отложений саснавской свиты и сохранению их от разрушающего воздействия экзогенных факторов, а с другой представляют собой покрывку для поступающих снизу флюидов, в том числе потенциально металлоносных.

3.3.6. Урановая терригенная палеодолин

Комплексные урановые (с Re, Mo, Se) месторождения палеодолинного типа широко распространены в районах с различным геологическим строением, как в России, так и за рубежом. Выделяется два типа палеодолин: межформационные (базальные) и внутрiformационные. Месторождения палеодолинного типа существенно отличаются от более полно изученных пластово-эпигенетических месторождений урана (Притяньшаньская мегапровинция, штат Вайоминг и плато Колорадо в США).

Основными критериями при прогнозировании палеодолинных урановых месторождений, является структурный, литолого-палеогеографический, палеогидрогеологический, палеогеоморфологический, радиогидрогеологический

В осадочном чехе ВЕП распространено бедное непромышленное урановое оруденение палеодолинного типа, сформированное преимущественно окислительными (инфильтрационными) процессами. Оно связано с зонами грунтово-пластового и грунтового окисления и локализуется в пределах внутрiformационных палеодолин и палеодепрессий палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста. Отсутствие в обрамляющей РП «раме» орогенных областей мезозойского и кайнозойского возраста не позволяет ожидать масштабного проявления окислительного эпигенетического рудообразующего процесса, связанного с зонами пластового окисления.

Основным является выявление на протяжении палеодолины участков, благоприятных для размещения оруденения, в качестве таковым рассматриваются литологические, стратиграфические несогласия, структурные (приуроченность к флексурным перегибам), геоморфологические (изгибы палеодолин, углубление ложа, террасы, карстовые явления). Не менее важной «ловушкой» является органическое вещество рудовмещающих пород от бурых углей и торфа до углистого детрита терригенных пород.

На рассматриваемой территории к данной ренийсодержащей формации можно отнести Балковское месторождение урана, приуроченное к отложениям яшкульской серии, выполняющим миоценовые палеоврезы низовьев системы палео-Дона в Калмыкии [Красных, 1996; Расулова, Тарханова, Каминов, 2008; Шор и др., 2009] (Рисунок 3.15). По фондовым данным ГП «Кольцовгеология» в составе урановых руд месторождения выявлены высокие концентрации Re (0,3–3,9 г/т), Mo (до 0,01 %) и Se (0,01–0,084 %) Последнее подтверждается обнаружением минералов селена – ферроселита (FeSe_2) и тиманнита (HgSe) [Енгальцев, 2011б,г].

Фактические материалы по ренийности данного уровня были получены автором при исследовании керн скважин Балковского месторождения, пробуренных в 2008–2010 гг. ГП «Кольцовгеология» в рамках работ по оценке ураноносности Восточного участка Гашунской площади. Здесь откартированы 14 палеорусловых структур протяженностью от 40 до 180 км и шириной от 3 до 20 км на участках слияния [Красных, 1996; Шор и др., 2008]. Отложения, заполняющие эрозионные палеоврезы (палеодолины), отличает сложное внутреннее строение, невыдержанное по площади и в разрезе. Палеоврезы выработаны в отложениях майкопской серии верхнего олигоцена – нижнего миоцена.

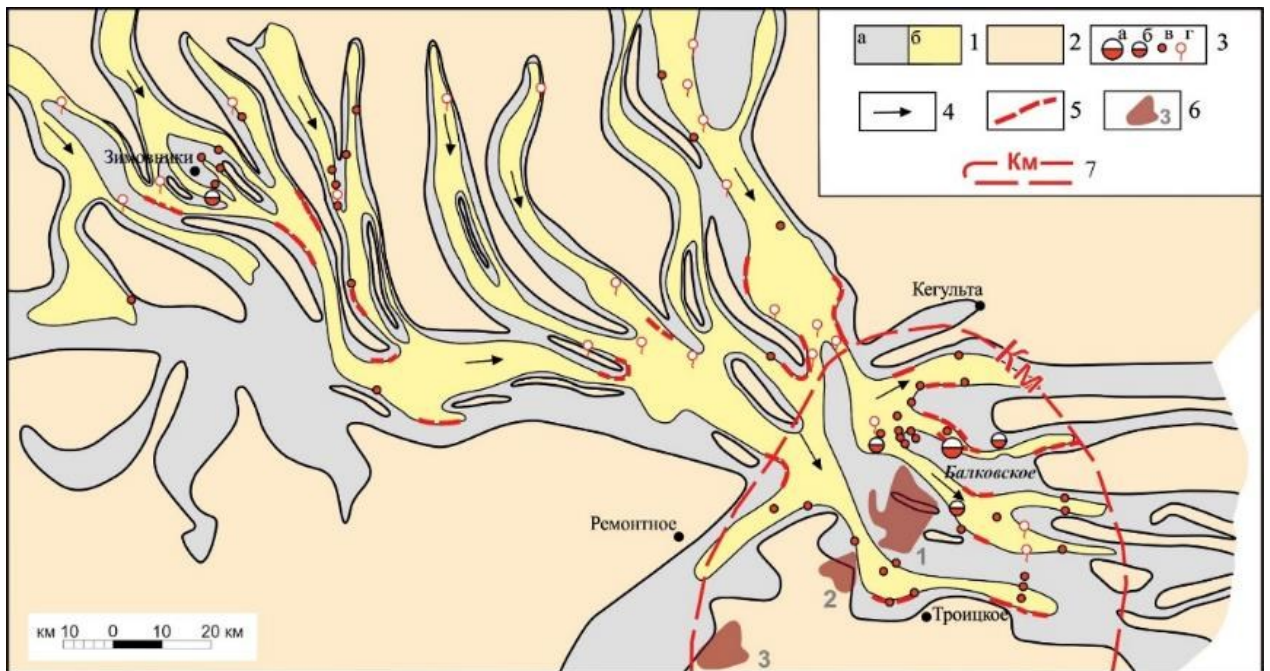


Рисунок 3.15 Схема низовьев системы палео-Дона (Гашиунская площадь) с данными по рудоносности 1 – рудовмещающие отложения яшкульской серии (а – первично сероцветные, б – пластовоокисленные); 2 – фундамент палеодолин, сложенный породами майкопской серии; 3 – урановорудные объекты в породах яшкульской серии (а – Балковское месторождение, б – проявление, в – радиоактивные аномалии в горных породах, г – радиогидрогеологические аномалии с содержанием урана в воде $> 5 \cdot 10^{-6}$ г/л); 4 – направление движения инфильтрационного потока; 5 – прогнозируемые урановорудные залежи в системе палео-Дона; 6 – органогенно-фосфатные уран-редкометалльные месторождения в породах майкопской серии и их номера (1 – Яшкульское, 2 – Троицкое, 3 – Шаргадыкское); 7 — контур Калмыцкого потенциально рениеносного района.

Песчано-глинистые отложения среднего–верхнего миоцена относятся к яшкульской серии, состоящей из трех свит (снизу-вверх по разрезу): загистинской (N_{1zg}), балковской (N_{1bl}) и оватинской (N_{1ov}) [Застрожнов, 1995]. Основным рудовмещающим горизонтом является загистинская свита, в меньшей степени – балковская.

Яшкульская серия с угловым и стратиграфическим несогласием залегает на эрозионной поверхности отложений майкопской серии верхнего олигоцена – нижнего миоцена. В кровле майкопских глинистых отложений проявлена зона поверхностного окисления, свидетельствующая о перерыве в осадконакоплении.

Отложения яшкульской серии представлены разнозернистыми песками и глинами с тонкой рассеянной углефицированной органикой (растительный детрит) и вкраплением сульфидов железа. Первичная окраска пород – сероцветная. Отложения формировались в различных обстановках (аллювиальных, мелководных прибрежно-морских и дельтовых) в условиях гумидного климата.

Характерным элементом гидрогеологической системы, существующей в яшкульских отложениях, является наличие гидравлических «окон», по которым происходит переток

(инфильтрация и эксфильтрация) вод в пределах комплекса. Такие «окна» фиксируются на участках размыва глинистой пачки в кровле яшкульской серии или залегании песчаных обводненных песчаных отложений ергенинской свиты на песчаных отложениях оватинской свиты (Рисунок 3.16) [Расулова, Тарханова, Каминов, 2008; Шор и др., 2009а,б].

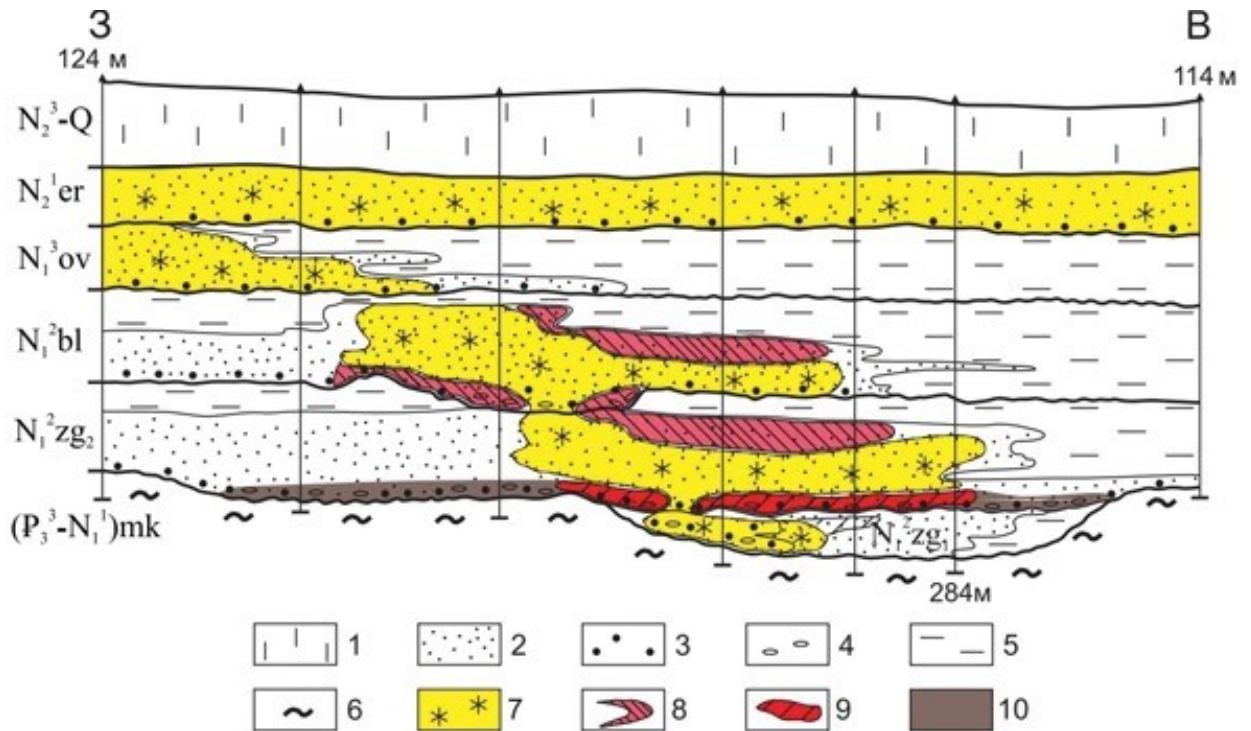


Рисунок 3.16. Схематический продольный разрез через рудовмещающую палеодолину на Балковском месторождении урана [Расулова, Тарханова, Каминов, 2008]

1 – суглинки и супеси; 2 – пески мелко-тонкозернистые; 3 – пески крупнозернистые; 4 – обломки глинистых, карбонатно-глинистых пород; 5 – глины алевритистые, алевриты; 6 – глины; 7 – желтоцветное окисление; 8 – оруденение с низким содержанием урана; 9 – оруденение с высоким содержанием урана; 10 – ураноносная «катунная» фация.

В нижней части яшкульской серии в песках загистинской свиты достаточно часто встречаются гальки и валуны («катуны»), сложенные глинисто-карбонатно-фосфатным веществом (по данным рентгенофазового анализа – сидерит с примесью франколита, франколит с примесью фтор-карбоната и гидроксилпатита различной степени раскристаллизации). К ним приурочена рассеянная урановая минерализация (содержание урана 0,00n–0,n %) [Расулова, Тарханова, Каминов, 2008]. Вероятнее всего, рассматриваемые образования происходят из отложений майкопской серии, размываемые при формировании палеоверзов.

Данные по содержанию Re и ряда химических элементов в пробах, отобранных из яшкульских отложений на востоке Гашунской площади, приведены в таблице 3.27.

Таблица 3.27 – Средние содержания Re, ряда химических элементов и петрогенных оксидов в типовых разностях пород загистинской и балковской свиты на Балковском месторождении, ИСП МС, г/т; оксиды по данным силикатного анализа, в %

Химический элемент (оксид)	Загистинская свита						Балковская свита				Предел обнаружения
	глина темно-серая (n = 5)	алевролит серый глинистый (n = 5)	песчаник тонкозернистый (n = 2)	песчаник желтый мелко-среднезернистый (n = 9)	фосфатная галька (n = 1)	песчаник серый мелкозернистый (n = 4)	глина серая, темно-серая (n = 5)	песчаник среднезернистый желтоцветный из зоны окисления (n = 2)	песчаник серый среднезернистый (n = 1)	алевролит глинистый (n = 1)	
Re	0,050	0,05	0,44	<0,005	1,43	0,01	0,015	<0,005	0,01	0,01	0,005
U	8,16	2,62	1,36	3,25	155	2,83	3,29	1,06	3,07	1,88	0,1
V	99,27	104,33	7,9	30,97	74,4	18,78	133,2	20,75	19,9	68,7	2,5
Mo	1,68	1,71	<0,6	33,11	3,71	<0,6	1,42	1,375	<0,6	0,76	0,6
Sc	20,11	24,85	1,70	4,06	19,5	6,51	27,76	5,655	7,21	17,8	0,01
As	6,47	4,76	1,97	13,55	6,77	1,85	4,36	2,935	1,87	3,54	1
Se	0,48	0,42	<0,3	12,57	0,73	<0,3	6,22	2,98	<0,3	<0,3	0,3
Y	15,3	21,63	2,18	5,26	83,4	5,21	20,54	4,94	7,59	13,7	0,1
TiO ₂ %	0,61	0,74	0,06	0,11	0,38	0,25	0,82	0,185	0,27	0,52	0,001
P ₂ O ₅ %	0,083	0,09	0,005	0,21	4,51	0,01	0,13	0,035	0,02	0,06	0,001

Характерная для эпигенетических инфильтрационных урановых объектов ассоциация U–Mo–Se–Re здесь не проявлена в полной мере, хотя Re и фиксируется в породах, обогащенных селеном и ураном.

В целом в пробах установлены низкие содержания Re в интервале $< 0,005–0,44$ г/т и лишь в гальках фосфатного состава достигает 1,43 г/т. Наиболее устойчивые содержания Re на уровне $0,1–0,44$ г/т приурочены к сероцветным породам на границах зон пластового окисления. В желтоцветных зонах окисления («мешковая» часть ролла) его содержания составляет $< 0,005–0,006$, редко до $0,015$ г/т. Часто в пробах с повышенным содержанием Re фиксируются Se и As.

Минеральные формы Re не установлены, однако, обращает на себя внимание наличие в составе фосфатных галек повеллита, что позволяет высказать мнение о возможности вхождения Re в позицию молибдена в его составе.

Балковское месторождение урана сформировано зонами пластового окисления (пластовой и кулисно-линзовидной морфологии), связанными с нисходящей инфильтрацией подземных вод в условиях «вялого» гидродинамического режима, что определяет его отличие от зон окисления других известных инфильтрационных месторождений и меньшую рудоносность. Часть зон развивается по породам, содержащим рудные фосфатные «катуны», вымытые из подстилающих майкопских отложений. Основные залежи месторождения размещены в нижней (загистинской) свите яшкульской серии.

В региональном тектоническом плане Балковское месторождение располагается на территории вала Карпинского, входящего в состав протяженной Припятско-Доно-Мангышлакской рифтовой системы. Размещение месторождения определяется не только структурно-тектоническими, то и литолого-стратиграфическими и гидрогеологическими факторами [Расулова, Гарханова, Каминов, 2008].

Источником Re, вероятнее всего, являются специализированные на уран (а также Mo, Re) отложения майкопской серии вмещающие залежи костного детрита, обогащенного ураном, рением и редкими элементами. Их выветривание в областях поднятий приводит к образованию легкоподвижных соединений, которые в дальнейшем мигрировали с подземными водами и отлагались на геохимических барьерах, формируя рудные залежи.

3.3.7. Урановая в угленосных отложениях

Данная формация в осадочном чехле ВЕП представлена Re-Mo-U месторождениями (Бельское, Брикетно-Желтухинское) и рядом проявлений, приуроченных к угленосным отложениям нижнего карбона Подмосковского бассейна (Рисунок 3.17) [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Енгальчев, Пуговкин, Лебедева, 2015а,б; Енгальчев, 2019г; Карась и др., 2016].

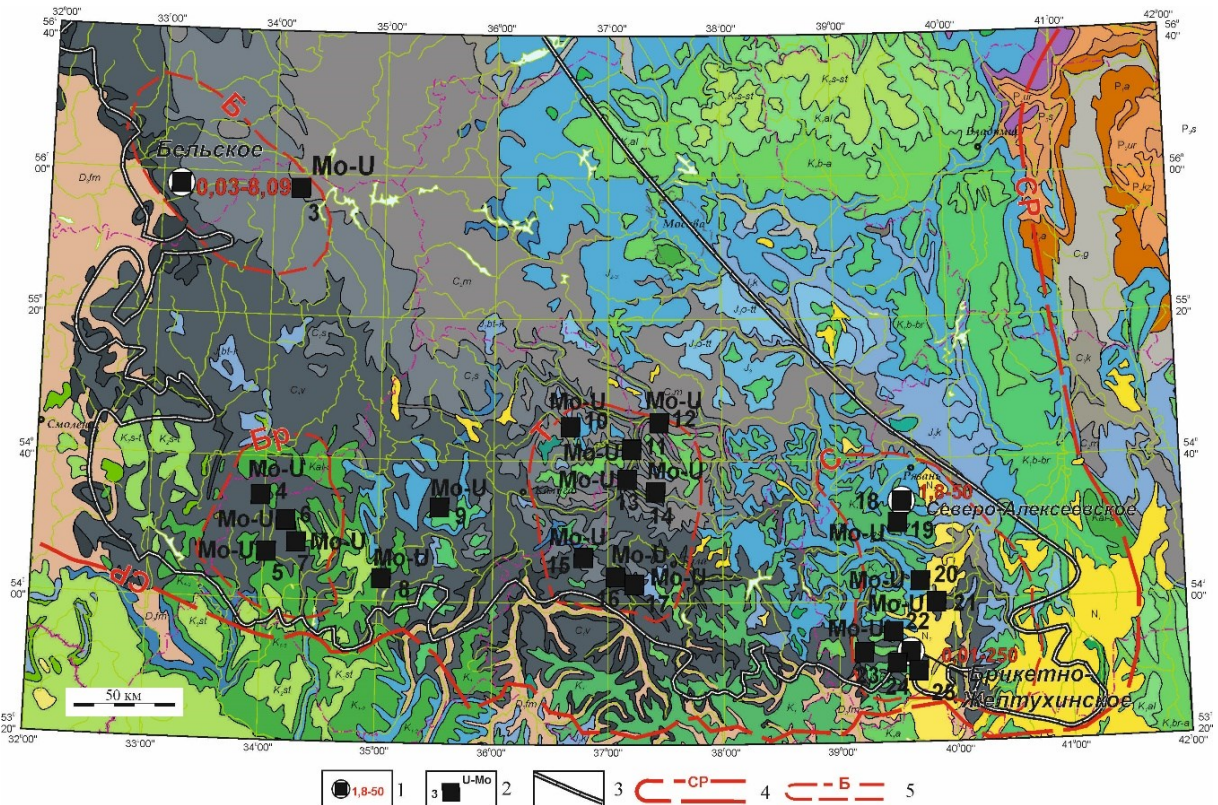


Рисунок 3.17. Геологическая карта-схема расположения рениевых объектов в южной части Подмосковского бурогоугольного бассейна

1 – Re-Mo-U месторождения (Бельское, Брикетно-Желтухинское) и проявления и в угленосных отложениях, содержание Re (г/т) показано красным цветом; 2 – Mo-U проявления в угленосных отложениях и их номера (3 – Сычевское, 4 – Чипляевское, 5 – Кировское, 6 – Студеновское, 7 – Будское, 8 – Шлиповское, 9 – Бабынинское, 10 – Северо-Окское, 11 – Нечаевское, 12 – Пущинское, 13 – Казначеевское, 14 – Лаптевское, 15 – Веригинское, 16 – Труфаново-Воскресенское, 17 – Западно-Щекинское, 19 – Рязанское, 20 – Юраковское, 21 – Волковское, 22 – Вослебовское, 23 – Западно-Скопинское, 24 – Восточно-Вердинское, 25 – Южно-Скопинское); 3 – Подмосковский бурогоугольный бассейн; 4 – Среднерусская ПРМО; 5 – потенциально рениеносные районы: Б – Бельский, Бр – Брятинский, Т – Тульский, С – Скопинский.

Условным аналогом выступает комплексное (U, Mo, Re) уран-угольное месторождение Кольджат в Казахстане [Пятов, 2005; Урановые месторождения Казахстана, 2008; Кисляков, Кисляков, Щеточкин, 2000].

В минералого-геохимическом отношении уран-угольные месторождения отличаются от сходных по генезису урановых месторождений в терригенных отложениях [Каширцева, Успенский, 1982]. Для первых характерна более сложная и менее отчетливая зональность.

Рудовмещающий комплекс угленосных отложений представлен сложнопостроенной толщей, состоящей из чередования песчаников, глин и угленосных отложений, углей, которые с размывом залегают на породах верхнего девона (фамен), а в более южных районах – на отложениях нижнего карбона. Накоплению угленосных отложений региона предшествовал длительный перерыв, в течение которого происходил подъем территории Воронежского

кристаллического массива. Эрозионно-денудационные процессы наряду с тектоническими нарушениями, связанными с верхнедевонско-раннекаменноугольной активизацией Восточно-Европейской платформы, привели к формированию интенсивно расчлененной поверхности «известнякового фундамента» (черепетский или упинский горизонты турне), осложненной системой эрозионных врезов глубиной в десятки метров, при протяженности в десятки километров. Каркас таких эрозионных врезов унаследовала визейская аллювиальная система, включающая палео-Оку, Скопинскую, Сафоно-Барятинскую и Рязанско-Саратовскую палеореки (Рисунок 3.18).

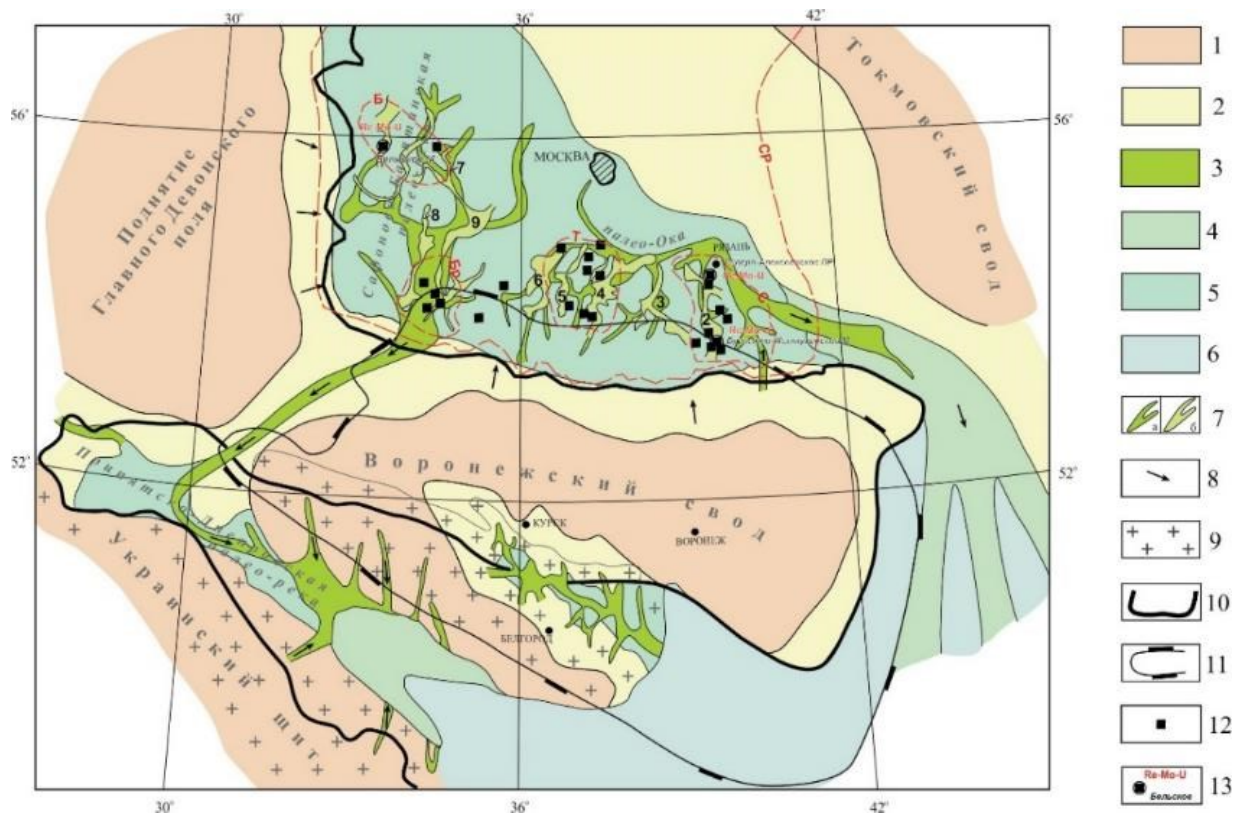


Рисунок 3.18. Схема размещения визейских палеодолин в центральной части ВЕП. Составлена автором с использованием [Яблоков, 1973; Палеогеоморфологический ... , 1983]

1–6 – палеорельеф ранневизейского времени: 1 – пенеплен слабо расчлененный, 2–6 – равнины: 2 – денудационные с локальной аккумуляцией, 3 – аллювиальные, 4 – аллювиально-дельтовые, 5 – озерно-болотные и озерно-аллювиальные (области формирования боксит-угленосной формации), 6 – прибрежно-морские, в зоне неустойчивого положения береговой линии моря; 7 – речные долины и их номера (притоки палео-Оки: 1 – Рановская, 2 – Скопинская, 3 – Древне-Пронская (Веневская), 4 – Щекинско-Обидимская, 5 – Ханинская, 6 – Козельско-Калужская; притоки Сафоново-Барятинской палеореки: 7 – Сафоново-Издешковская, 8 – Спас-Деменская, 9 – Восточно-Барятинская); 8 – главные направления сноса обломочного материала; 9 – породы докембрийского фундамента, выходящие на нижневизейскую поверхность; 10, 11 – границы: 10 – современного распространения каменноугольных отложений палеобассейнов, 11 – Воронежской антеклизы; 12 – Mo-U проявления; 13 – Re-Mo-U объекты (Бельское и Бриклетно-Желтухинское месторождения, Северо-Алексеевское проявление).

Практически все выявленные аномалии и проявления урана и, вероятнее всего, рения, располагаются на флангах угольных залежей, на участках их размыва, расщепления и фациального перехода в палеорусловые отложения. Оруденение сосредоточено в бортовых частях крупных палеодолин на участках резкого изменения генеральных направлений палеорусел, тогда как на прямолинейных участках палеодолин, рудных объектов и аномалий не выявлено.

К породам нижнекаменноугольного уровня приурочено Re-Mo-U Бельское и Брикетно-Желтухинское месторождения. Кроме U и Mo руды обогащены Se, Ag, Cu, V, Tl, Sb, As. Повышенные содержания Re приурочены к темноцветным (сероцветным, темно-серым до черных) разностям песков, с обильным углистым детритом, и, реже, к углям. Минеральные формы рения не установлены, но определены наиболее вероятные минералы-носители Re, которыми являются молибденсодержащие минералы – ильземаннит, ферромolibдит и камиокит, а также вульфенит. Рений входит в состав этих молибденсодержащих минералов, частично замещая молибден в их структуре. Вероятно, не вся масса рения связана с минералами молибдена, при этом рений также присутствует в составе пирита и образует труднодиагностируемые ренийсодержащие подвижные формы, ассоциирующие с рассеянным органическим веществом пород.

Бельское Re-Mo-U месторождение. Находится в Бельском районе Тверской области, в 14 км к востоку от г. Белый. Было выявлено в 1954 г. при анализе керна поисковых скважин на уголь и изначально рассматривалось как урановый объект. На нем в 1955–1959 гг. были проведены геологоразведочные работы [Островская, 1968].

Месторождение приурочено к западному притоку Сафоново-Барятинской палеореки (Рисунок 3.17, 3.18). Палеодолина выработана в «известняковом фундаменте» и заполнена песчано-глинистыми угленосными осадками бобриковского и тульского горизонтов (Рисунок 3.19). Она перекрыта окремненными известняками алексинского и михайловского горизонтов визейского яруса нижнего карбона. Суммарная мощность отложений от дневной поверхности до «известнякового фундамента» составляет 90–130 м.

Крутой юго-западный борт палеодолины контролируется флексурообразным уступом северо-западного простирания с вертикальной амплитудой от 40 до 80–114 м. В свою очередь, положение уступа определяется размещением тектонических зон северо-западного простирания, проявленных в отложениях осадочного чехла (трещины, палеокарст, окварцевание и др.) и кристаллического фундамента. К основной палеодолине северо-западного простирания с севера и юга присоединяются боковые палеопритоки северо-восточной ориентировки, которые, вероятнее всего, заложены по тектоническим нарушениям северо-восточного простирания. Такие материалы косвенно свидетельствуют о том, что Бельское Re-

Mo-U месторождение приурочено к пересечению тектонических нарушений северо-западного и северо-восточного направлений.

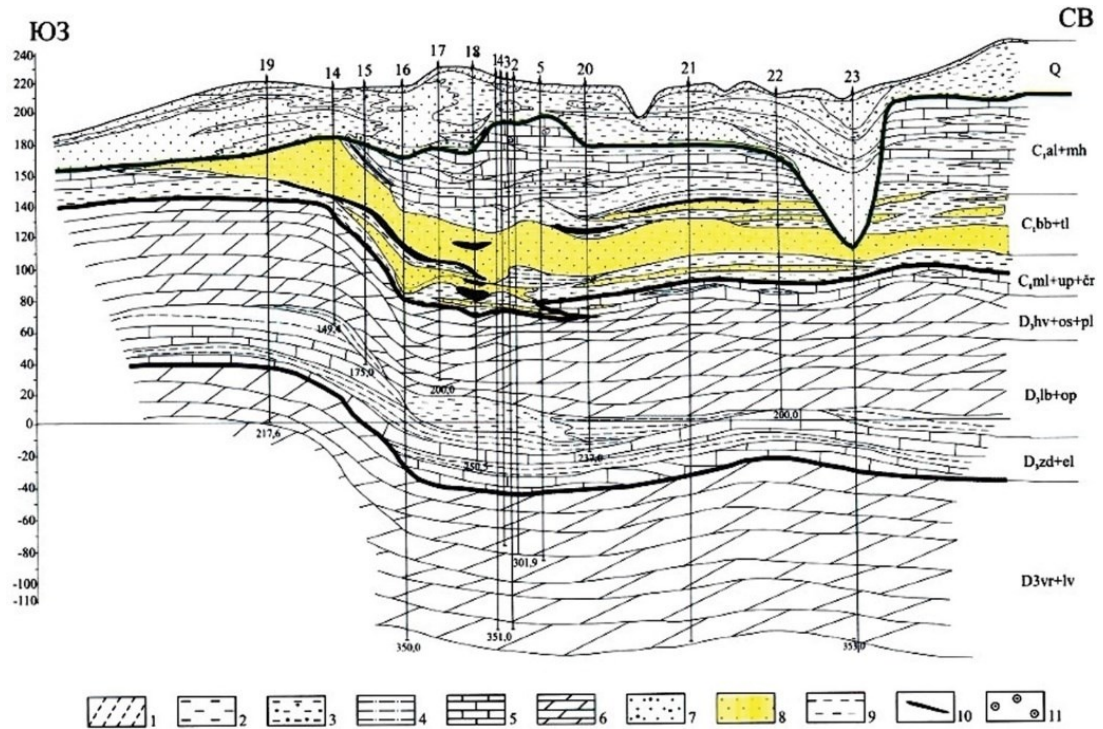


Рисунок 3.19. Геологический разрез Бельского Re-Mo-U месторождения [Островская, 1968]

1 – суглинки; 2 – глины; 3 – глины валунные; 4 – алевриты глинистые; 5 – известняки; 6 – доломиты; 7 – галечники; 8 – пески и песчаники; 9 – глины углистые; 10 – Re-Mo-U рудные тела; 11 – кремни.

Урановое оруденение многоярусное и встречается практически по всему разрезу. Рудные залежи в плане образуют дугообразную полосу северо-западного направления шириной до 1,5 км и длиной 3,5 км.

В результате геологоразведочных работ 1955–1959 гг. в вертикальном разрезе установлено 28 рудных пластов и слоев мощностью от 0,1 до 3 м (средняя 0,54 м), при протяженности до 100 м, с содержаниями урана от 0,1 до 1,5 %. При этом основная часть залежей локализуется в песчано-глинистых отложениях визейского яруса. Всего по месторождению оконтурено 25 залежей балансовых руд. Глубина залегания рудных тел – от 14 до 150 м. Балансовые запасы урана, по кондициям для горного способа отработки, составляют покат. С₁ – 1273,3 т при среднем содержании 0,127 %, забалансовые – 4075,3 т при среднем содержании 0,036 %.

Рудные тела не имеют выдержанных границ. Урановая минерализация часто приурочена к тонким прослоям углистых и алевритистых глин, сажистым углям на их контакте с перекрывающими кварцевыми песчаниками.

Урановая руда содержит обугленные растительные остатки, пирит (с примесью Co, Ni, As, Cu, Ag), марказит, сфалерит, галенит, халькопирит. Уран присутствует в тонкодисперсной форме, реже в виде урановых черней, настурана и гидронастурана. Максимальные содержания урана приурочены к дисульфидам железа, органическому веществу и тонкодисперсной алюмосиликатной массе. Установлено присутствие урана в легкорастворимой (60–90 %) и труднорастворимой (10–40 %) форме (вероятно, урановые окислы). Часть легкорастворимого урана, несомненно, связана с алюмосиликатами (58–76 %), часть – с органическим веществом (24–42 %). По своей природе органическое вещество относится к бурым гумусовым углям и легким битумам. Обращает на себя внимание обнаружение легких битумов в наиболее пористых известняках в виде неправильных пятнистых образований бурого цвета. Помимо урана в рудах установлено содержание (в %) V (0,01–0,3), As (0,1–1), Zn (0,01–0,3), Cu (до 0,1), Pb (до 0,03), Mo (до 0,06), Se (до 0,008).

Особенностью руд Бельского месторождения является сдвиг равновесия в сторону значительного недостатка радия (средний коэффициент равновесия 60–63 %) [Островская, 1968].

Рениеносность урановых руд Бельского месторождения была установлена в 2008–2009 гг. при его исследовании ИМГРЭ совместно с «Урангео». Было проведено опробование на Re скв. 4001 глубиной 141 м. Полученные результаты позволили обосновать проведение работ на рений, реализованных в 2010–2012 гг. На месторождении были проведены детальные исследования, ориентированные на изучение геологического строения и рениеносности объекта, а также разработку технологии извлечения из руд Re и попутных компонентов [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011].

В ходе работ ИМГРЭ в 2008–2012 гг. на рений было исследовано шесть скважин [Трач и др., 2012ф]. Содержания Re были определены кинетическим методом и ИСП-МС.

Скважины вскрыли основные урановорудные уровни месторождения. Разрез представлен снизу-вверх: доломиты светло-серые трещиноватые с пиритом (верхний девон); малевский горизонт нижнего карбона (C_{1ml}): пески серые алевритистые с прослоями углистых алевритов (верхняя часть разреза) и пески светло-зеленые, реже черные, с углистыми глинами. Мощность 8,9–9,6 м; отложения бобриковского горизонта (C_{1bb}) мощностью 18,9– 20,3 м: в нижней части пески тонко-среднезернистые светло-серые, реже белые, с углистыми включениями и редкими прослоями глин, алевритов и известняков; в средней части – переслаивание разнозернистых песков, часто известковистых, алевритов и глин; в верхней части – переслаивание углей и углистых глин, насыщенных конкрециями и желваками пирита общей мощностью 1,2–2,7 м; отложения тульского горизонта (C_{1tl}), в составе двух пачек: нижней и верхней. Нижняя пачка (C_{1tl1}) мощностью 28,8–32,7 м представлена темно-серыми песчаниками с карбонатным

цементом, с редкими прослоями алевритов и глин. В средней части пачки присутствуют черные углистые глины с линзами и линзовидными прослоями улей. Верхняя пачка (C_{1tl2}) мощностью 13,2–16,2 м сложена на северо-западе месторождения серыми глинами, которые в юго-восточном направлении сменяются мелко-среднезернистыми песками, часто известковистыми. В нижней части разреза присутствуют черные углистые глины с линзовидными прослоями углей, содержащими многочисленные включения пирита.

Выше залегают преимущественно карбонатные отложения михайловско-алексинского ($C_{1mhl-al}$) и веневского (C_{1vn}) горизонтов.

По полученным аналитическим данным было установлено, что ореол рения (по $C_{борт} > 0,5$ г/т) имеет вертикальный размах до 48 м, охватывая практически всю продуктивную толщу проницаемых отложений тульского и бобриковского горизонтов, включая в себя ореолы как урановой, так и молибденовой минерализации. Содержания Re во всех урановорудных интервалах больше 0,5 г/т, что может косвенно указывать на близость процессов накопления Re и U.

Мощность рениеворудных интервалов составляет 2–19 м, при содержаниях Re 0,3–5,7 г/т, средневзвешенное содержание 1,05 г/т. Несмотря на относительно невысокие содержания, продуктивность этих интервалов, ввиду большой мощности, довольно высокая – до 26,22 мг/т. Максимальная содержания Re приурочена к пескам, насыщенным углистым детритом и дисульфидами железа, в меньшей степени – к углистым глинам, углям и зонам ритмично переслаивающихся алевро-глинистыми пород. В углях содержание Re колеблется от 0,07 до 10 г/т.

По данным Урангео, прогнозные ресурсы Re района Бельского месторождения по кат. P₂ составляют 255–300 т.

На основе обработки имеющегося массива аналитических данных автором были рассчитаны средние значения Re, U и Mo по характерным разностям пород каждого горизонта месторождения. Было установлено, что наиболее высокие средние значения Re, U и Mo характерны для углей, углистых глин и углистых алевролитов, обогащенных пиритом.

Средние содержания Re для углей тульского (нижняя часть) и бобриковского горизонтов приведены в таблице 3.28. Для углистых, пиритсодержащих глин тульского (нижняя часть) горизонта средние содержания Re составляют 0,8 г/т, а пиритсодержащие алевролиты того же горизонта – 1,2 г/т. Как правило, повышенные содержания Re коррелируют с высокими содержаниями U и Mo (428 проб, коэффициент корреляции Re-U – 0,58, Re-Mo – 0,34) (Рисунок 3.20).

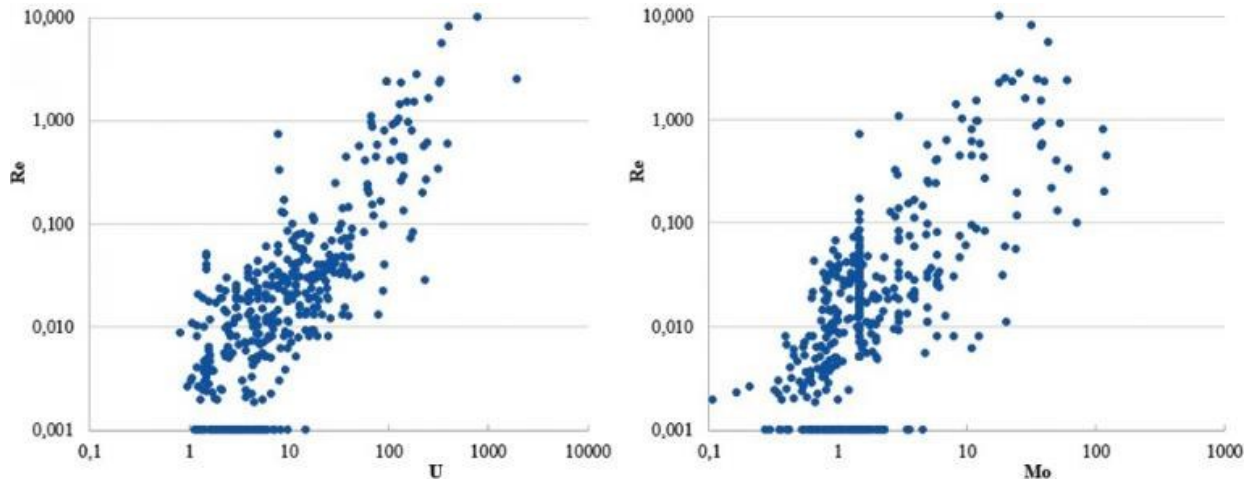


Рисунок 3.20. Бинарные диаграммы содержаний Re, Mo и U в породах тульского и бобриковского горизонтов Бельского Re-Mo-U месторождения.

Пески, глины и алевриты тульского и бобриковского горизонтов, лишенные примеси углистого вещества, характеризуются низкими содержаниями Re, U и Mo. Для всех стратиграфических уровней Бельского месторождения фиксируется положительная связь Re с U и Mo, при этом она наиболее сильна в породах бобриковского горизонта.

По пробам из скв. 4001, было установлено, что Re имеет высокую положительную корреляцию с Be (0,87), Sr (0,85), V (0,78), Al_2O_3 (0,74), Rb (0,71), Mo (0,72), ппп (0,63), Ba (0,57), Сорг (0,58), S сул (0,46), а отрицательную с SiO_2 (-0,76), Pb (-0,55), Ni (-0,41).

Возраст ренийевого оруденения и модель формирования Re-Mo-U Бельского месторождения. В конце 1960-х годов в ходе исследования уранового оруденения Бельского месторождения было установлено, что первичные содержания урана имеют сингенетическую природу и связаны с сорбцией U осадками из вод, о чем свидетельствует литолого-стратиграфический контроль оруденения. В последующем в процессе диагенеза и эпигенеза происходило перераспределение урана, о чем свидетельствует нарушенное радиоактивное равновесие и выделение урановой смолки по мелким секущим трещинам. Уран-свинцовым методом были установлены два возраста уранового оруденения – 175–240 и 70–75 млн лет [Островская, 1968].

Таблица 3.28 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в типовых разностях пород рудной части разреза (бобриковско-тульский интервал, Бельское Re-Mo-U месторождение, скв. 4001), ИСП МС, г/т. Составлено автором с использованием [Трач и др., 2012ф]

Химический элемент	Песок м/з (n = 5)	Песок м/з слабо углистый (n = 3)	Песок м-т/з с пиритом (n = 2)	глина алевролитистая слабо углистая (n = 2)	уголь, глина углистая (n = 2)	глина углистая (n = 2)	глина серая (n = 1)	песчаник с сульфидным цементом (n = 1)	Предел обнаружения
Re	0,03	0,21	0,57	0,75	0,95	2,49	0,04	1,44	0,005
U	11,96	38,24	134,82	221,83	153,64	4944,16	18,52	50,29	0,01
V	63,95	234,53	85,86	630,10	1500,53	1796,59	84,13	199,99	1
Mo	2,02	5,83	4,42	8,68	23,29	357,40	2,26	1,65	0,1
Cu	14,06	14,44	6,11	9,99	15,22	9,78	6,98	3,09	1
Co	1,50	5,03	2,35	6,13	4,06	6,24	2,04	2,22	0,1
Ni	22,21	6,51	2,85	3,90	0,92	3,52	6,23	2,17	1
Zn	69,80	100,55	24,74	17,48	147,68	29,96	53,15	24,18	1
Pb	5,60	4,11	0,88	0,28	4,10	0,24	10,02	0,57	0,1
Cd	0,05	0,06	< 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	0,05	0,07	0,05
Sr	28,29	59,32	27,13	59,90	221,43	392,16	73,80	37,60	0,1
Ba	75,72	108,21	53,29	98,99	48,71	288,93	67,34	38,00	0,1
C _{орг} %	0,18	2,74	1,94	4,44	34,35	13,35	0,33	5,52	0,2
S %	0,79	0,94	2,54	1,74	1,52	2,57	0,56	7,06	0,01

Для формирования ренийевого оруденения, имеющего пространственную связь с ураном и молибденом, можно предполагать близкую последовательность рудообразования. По результатам изотопно-геохимических исследований детритовых цирконов и новообразованных кайм на их поверхности из песков рудных интервалов Бельского месторождения установлено три этапа: 250–370 млн лет – этап седиментации (C_1); 120–100 млн лет – второй этап (K_1) и третий этап 90–60 млн лет (K_2 – P). Последние два этапа связаны с постседиментационным преобразованием отложений, а Бельское Re-Mo-U месторождение является постседиментационным эпигенетическим и связано с раннемеловым этапом активизации погребенного фундамента. В пользу такого вывода приводятся данные о значительном возрастном размахе оруденения, его молодом возрасте, а также пространственной приуроченности к субвертикальным разрывным нарушениям, вблизи которых формируются наиболее богатые рудные скопления [Кременецкий, Громалова, Кайгородова, 2012].

Данные по определению возраста оруденения U-Pb методом и результаты, полученные по датированию кайм цирконов, дают несколько возрастных интервалов, что указывает на многоактность рудообразования. «Молодой» возраст постседиментационной активизации, установленный по цирконам (60–90 млн лет), близок к возрасту формирования урановых руд, который составляет 70–75 млн лет.

Вопрос об источнике рения, как и урана, остался открытым. Структурная позиция Re-Mo-U Бельского месторождения в визейской палеодолине, выработанной в проницаемой тектонической зоне, проявленной в осадочном чехле и фундаменте, проявления палеокарста и участков окварцевания в породах, а также многоярусный характер оруденения и разнообразие элементов-спутников рения (Mo, U, V, Se, As, Sr, Be, Zn, Cu, Sc, Y) наряду с изотопными данными о «молодом» (мезозойском) возрасте уранового оруденения и новыми материалами по возрасту кайм детритных цирконов из рудовмещающих отложений позволяют говорить о многостадийности формирования данного объекта.

Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U месторождение. Расположено в Скопинском районе Рязанской области. В конце 1950-х годов месторождение было разведано бурением по сети 100 × 100 м как урановый объект. Однако была дана отрицательная оценка по кондициям под горный способ отработки. Позже, в конце 1990-х годов в связи с пересмотром перспектив на выявление урановых месторождений Русской плиты, пригодных для отработки способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ), была проведена повторная интерпретация материалов, оценены запасы и ресурсы урана в проницаемых горизонтах [Фоменко, Сазонов, Дмитраков, 1999].

В 2003–2005 гг. Урангео при участии ФГБУ «ВИМС» и ФГБУ «Институт Карпинского» было выполнено исследование ураноносности Скопинского района. В ходе работ на

месторождении впервые были обнаружены промышленные содержания Re, а в 2006 г. специалистами Урангео (О. В. Алтунин, А. А. Новгородцев, В. С. Кудин, А. Е. Фоменко) оценены и апробированы прогнозные ресурсы Re по категориям P₁ и P₂ в объеме 40 и 300 т соответственно [Новгородцев и др., 2005ф]. В основу подсчета прогнозных ресурсов положены только достоверно опробованные на Re скважины (с выходом керна более 70 %), всего на рений тогда было проанализировано более 500 проб.

В 2013–2015 гг. на БМЖ проведены оценочные работы ИМГРЭ, выполнен подсчет запасов Re, апробированы технологии его извлечения методом СПВ [Карась и др., 2016].

Рений-молибден-урановое оруденение сосредоточено в породах бобринского и тульского надгоризонтов, имеющих мощность 35–40 м. Рудовмещающие породы залегают на глинисто-карбонатных породах «известнякового фундамента» (D₃–C₁) и перекрыты песчано-глинистыми отложениями юры и неогена мощностью 20–50 м (Рисунок 3.21).

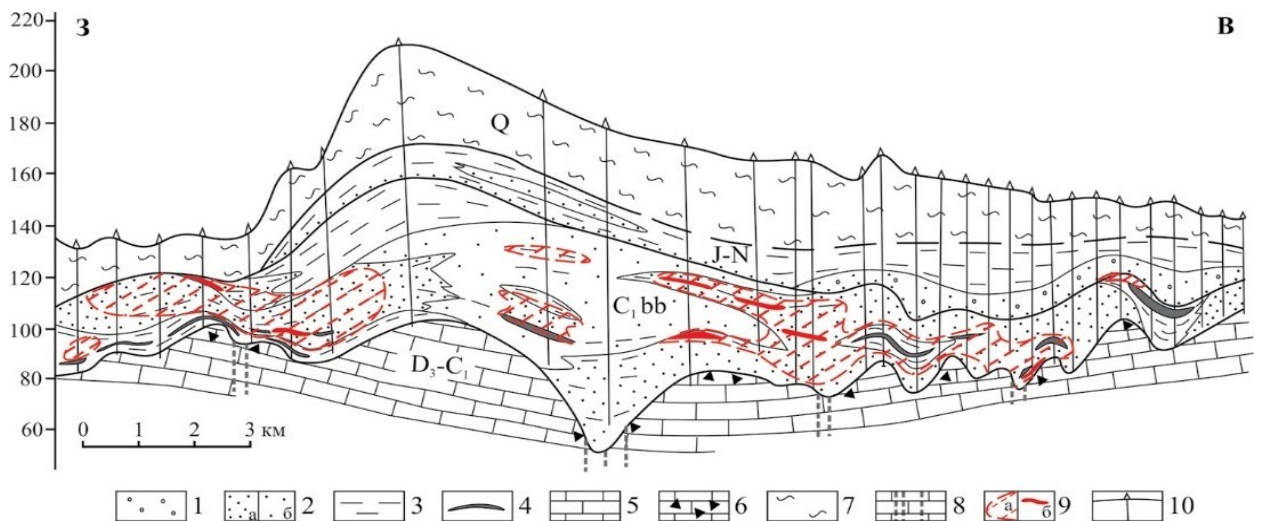


Рисунок 3.21. Схематический субширотный геологический разрез через Re-Мо-U Брикотно-Желтухинское месторождение

1 – гравелиты; 2 – пески мелкозернистые (а), средне- и разнозернистые (б); 3 – глины, алевролиты; 4 – прослой углей; 5 – известняки («известняковый фундамент»); 6 – брекчированные известняки; 7 – суглинки, супеси; 8 – разрывные нарушения и зоны трещиноватости (предполагаемые); 9 – аномальная радиоактивность по данным каротажа: < 100 мкР/ч (а), > 100 мкР/ч (б), 10 – скважины.

Месторождение приурочено к углублению Скопинской палеодолины – «Рясскому рву». «Известняковый фундамент» представлен карбонатными породами (доломиты, доломитизированные известняки) D₃–C₁ возраста (озерско-хованский, верхний фамен – упинский горизонт, турне).

На Брикотно-Желтухинском месторождении (БЖМ) породы «известнякового фундамента» на небольшую глубину (1–2, реже 3–5 м) вскрыты скважинами, при этом выход керна, как правило, невысок. В карбонатных породах присутствует рассеянная тонкая

сульфидная минерализация и часто фиксируются тонкие прослойки, примазки по напластованию и зеркалам скольжения.

Анализ данных по составу пород позволяет выделить два типа разреза: первый представлен неизменными массивными карбонатными породами с тонкой первичной слоистостью; второй представлен измененными карбонатными породами, в них наблюдаются повышенная трещиноватость, открытая пористость (пузыристая, кавернозность), породы брекчированы, доломитизированы. В них фиксируются секущие зоны, сложенные доломитом (часто окремненным) с новообразованным кварцем (Рисунок 3.22, 3.23). В некоторых образцах наблюдается расслоенность под углом 45° и флюидальная текстура.

Для брекчиевидных разностей доломитов характерны следующие особенности: фрагменты доломитов, находящихся в ожелезненном матриксе брекчий, имеют удлиненные, изогнутые или заостренные очертания, что не допускает их переноса в осадке; в породах и в «обломках» доломитов фиксируются разномасштабные субвертикальные трещины и зоны с флюидалностью; часто наблюдаются постепенные переходы от «обломков» к матриксу, а также проникновение вещества матрикса в «обломки» по трещинам.

Таким образом, в «известняковом фундаменте» фиксируются субвертикальные, вероятно, линейные, зоны измененных пород, сопровождающиеся брекчиями, зонами доломитизации (часто окремненными), окварцеванием, многочисленными прожилками новообразованного кварца, участками дезинтеграции пород с характерными, флюидалными текстурами, что косвенно свидетельствует о проявлении низкотемпературного гидротермального процесса в породах «известнякового фундамента».

Рудовмещающие отложения представлены преимущественно проницаемыми отложениями – кварцевыми песками различной зернистости (в основном средне-крупнозернистых), при подчиненном количестве маломощных прослоев и линз алевроитово-глинистых пород различной степени «углистости» и углей. Особенности строения разреза свидетельствуют о том, что в процессе осадконакопления породы регулярно подвергались размыву и переотложению. В результате вновь формирующиеся прослои песков обогащались продуктами размыва – мелкими фрагментами углистых пород, катунами «углистых» глин, углефицированным растительным детритом, тонкорассеянным гумусово-глинистым веществом, что создало благоприятные условия для эпигенетической рудоконцентрации на геохимическом барьере – высокая проницаемость, сорбционная и восстановительная способность.

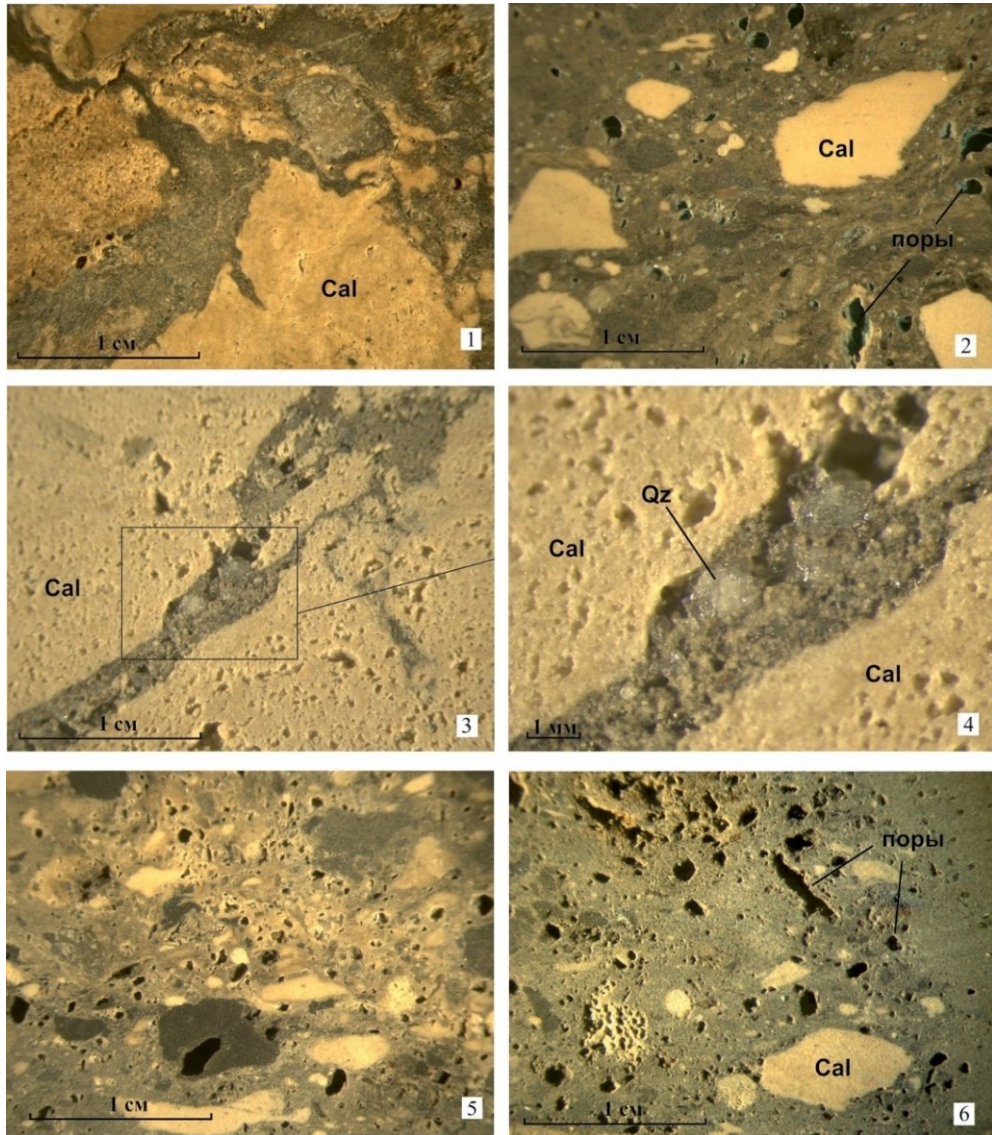


Рисунок 3.22 Микрофотографии шлифовок пород «известнякового фундамента» Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского месторождения

1, 2 – следы течения между остроугольными «обломками»; 3, 4 – кварцевый прожилок в пористой карбонатной породе; 5, 6 – пористость в известняке (николи X).

По составу пески относятся к олигомиктовым кварцевым. Помимо кварца в их составе фиксируются пирит, углистый детрит, фрагменты угля, ильменит, кремний, турмалин, мусковит, реже лимонит, циркон, полевой шпат и апатит, халькопирит и молибденит. Карбонатность алевро-песчаных пород менее 0,1 % и редко достигает 0,62 %. Содержания $S_{орг}$ и $S_{сул}$ в песках продуктивной зоны изменяются в довольно широких пределах.

В разрезе отложений присутствуют маломощные (до 0,1 м) линзы бурого угля, углистый аргиллит, углистый алевролит) низкой степени углефикации. Для углей характерны большое количество минеральных примесей (более 30 %) и высокие содержания гуминовых кислот.

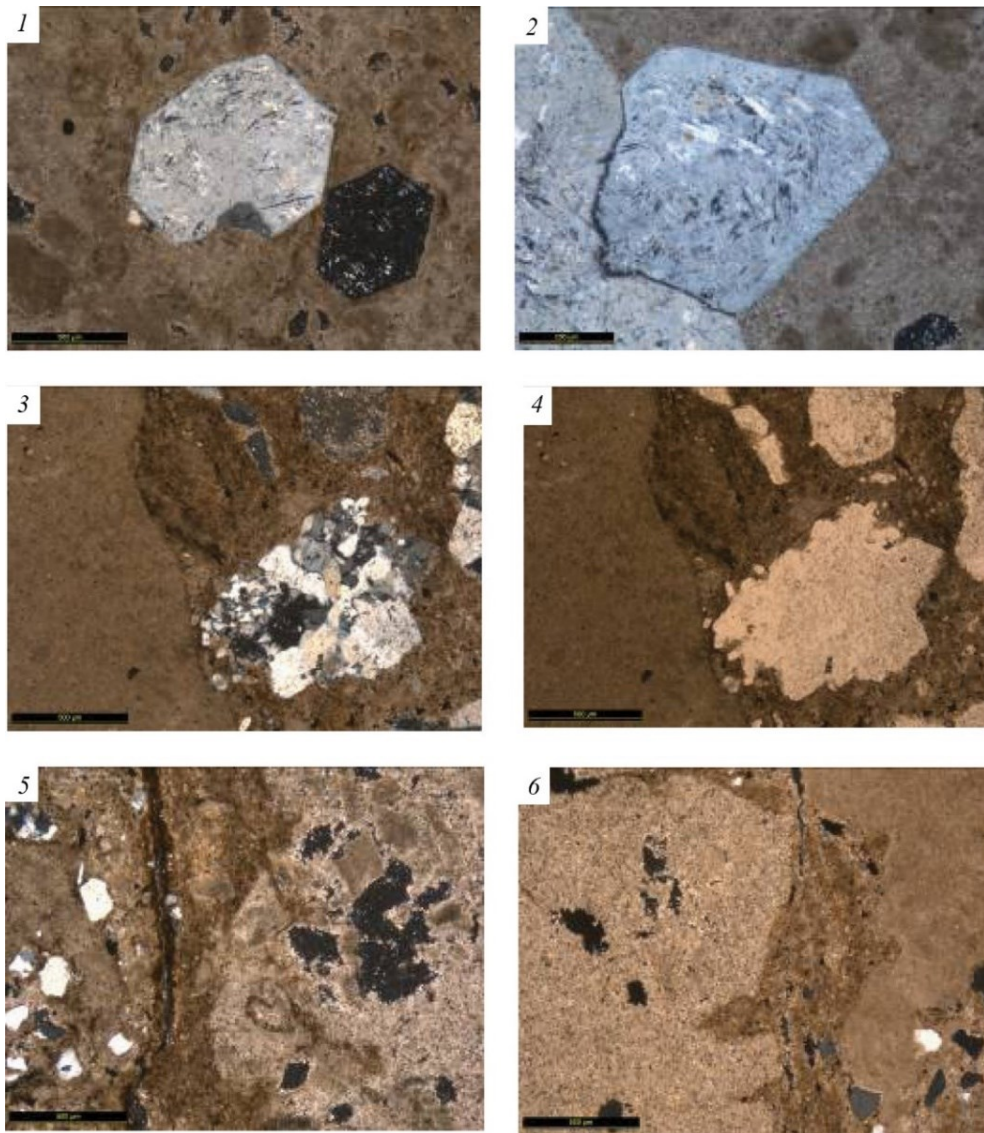


Рисунок 3.23 Микрофотографии шлифов пород «известнякового фундамента» Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского месторождения

1, 2 – новообразованный кварца в брекчированной карбонатной породе; 3, 4 – регенерация кварцевых обломков в брекчированной карбонатной породе (3 – николи X, 4 – николи II); 5, 6 – зоны «флюидной проработки» в брекчированной карбонатной породе (николи X)

В районе БЖМ откартированы врезы, выполненных породами неогена и юры (мощностью 20–50 м), выработанных в рудовмещающих тульских и бобриковских отложениях, установлена гидравлическая связь нижнекаменноугольного и юрско-неогенового водоносных горизонтов.

Re-Mo-U оруденение БЖМ представлено линзо-, пласто- и лентообразными телами. Залежи можно разделить на два типа: 1) локализованные в глинисто-углистых пойменных и озерно-болотных отложениях; 2) приуроченные к песчаным отложениям. К первому типу отнесены технологически забалансовые для СПВ руды, ко второму – руды, представляющие промышленный интерес. Основные параметры комплексного оруденения БЖМ приведены в таблице 3.29.

Таблица 3.29 – Основные параметры Re-Mo-U оруденения Брикетно-Желтухинского месторождения
[Карась и др., 2015 ф]

Параметры	Металл *		
	Re	Mo	U
Мощность, м	11,3 * / 3,5-21,6	1,9 / 0,1-3,4	2,4 /
Содержание, г/т	3,05 / 0,50-45,00	350 / 50-5000	190 /
Метропроцент, м г/т	34,47 / 2,80-113,28	665 / 240-5720	456 /
Средняя продуктивность, кг/м ²	0,059	1,13	0,78
Прогнозные ресурсы пригодные для отработки методом СПВ** (т)	P ₁	40	-
	P ₂	300	6000
Содержания металлов в откачных растворах (мг/л)***	0,6-1,2	>3	3-7

Примечание: * 1. В числителе – средневзвешенное, в знаменателе – от–до. ** **СПВ – скважинное подземное выщелачивание; *** Данные получены в процессе экспресс-опробования руд на месте их залегания методом односкважинного выщелачивания при использовании растворов на основе пластовой воды с растворенным в ней кислородом перекиси водорода или воздуха (для сравнения – на разрабатываемых месторождениях Букинайской группы содержания рения в продуктивных растворах 0,56–1,0 мг/л).

Мощность урановорудных интервалов составляет от 0,1 до 2,85 м, в среднем до 2,4 м. Средневзвешенное содержание – от 0,010 до 0,053 %, в среднем – 0,019 %. Средняя суммарная продуктивность по скважинам – 0,78 кг/м². Среднее значение коэффициента радиоактивного равновесия (K_{рр}) составляет 0,78.

Наиболее широко распространена безминеральная сорбционная форма урана, реже обнаруживается оксид урана и тонкодисперсные образования коффинита и нингиоита. Присутствует многокомпонентное электронно-аморфное вещество, содержащее уран, железо, серу, молибден и пр. Рудные минералы располагаются в слоистых алюмосиликатах, углистом веществе, в виде присыпки на кристаллах пирита и в виде пленочных образований на углистом веществе.

Интервалы с максимальными содержаниями урана (0,0n–0,n %) наблюдаются в отложениях кровли ритмопачек, которые сложены частично размытыми и ритмично переслаивающимися маломощными слойками углистых алевро-глинистых пород и тонко-мелкозернистых песков серого–темно-серого цвета, которые содержат большое количество углистого детрита и агрегатов тонкокристаллического пирита. Пирит развивается по углефицированной органике либо образует участки цементации обломочных зерен вблизи контактов с углисто-глинистыми слойками.

Уран обнаруживает значительные содержания (0,0n %) в приконтактной зоне пород с различной проницаемостью. Например, на контакте маломощных слойков углистой глины, пронизанной агрегатами тонкокристаллического пирита, и средне-крупнозернистого песка,

насыщенного углистым детритом и агрегатами пирита или в прослое серого песка, обогащенного катунами углистой глины, тонким сажистым веществом и пиритом и находящимся среди более крупнозернистых отложений.

Самые значительные по мощности урановорудные интервалы вскрыты в мелко-среднезернистых песчаных отложениях, сформировавшихся в условиях длительного перемыва осадков, что определило наличие в них большого количества мелких глинистых катунов и обломков угля различной крупности. Кроме органики пески содержат тонко-мелкозернистые агрегаты и конкреции пирита диаметром до 3 см.

Границы распространения молибденового оруденения сопоставимы с контурами урановой минерализации, но иногда незначительно смещаются как в разрезе, так и в плане (Рисунок 3.24, 3.25). Максимальные содержания Мо отмечаются в серых черноцветных породах двух типов: ритмично переслаивающихся углистых алеврит-глинисто-песчаных отложениях; грубозернистых песчаных отложениях, насыщенных обрывками, катунами углистых алеврит-глинистых пород, агрегатами дисульфидов железа и битумоподобным веществом типа гуминовых кислот.

Мощность молибденовурдных интервалов ($C_{\text{борт}} = 0,005 \%$) в проницаемых породах варьирует от 0,1 до 3,40 м (средняя – 1,9 м), а средневзвешенное содержание молибдена составляет – 0,035 %, средняя продуктивность – 1,13 кг/м².

Ореол селеновой минерализации, выделенный по $C_{\text{борт}} = 18$ г/т, прослеживается в верхней части комплексного Re-Mo-U оруденения, где он тяготеет к светло-серым песчаным отложениям.

Тела с рениевой минерализацией оконтурены по $C_{\text{борт}} = 0,5$ г/т. Они имеют вертикальный размах от 3,5 до 21,6 м (в среднем 14,3 м) и частично захватывают ореолы как молибденовой, так и урановой минерализации.

Содержания Re в пробах внутри выделенных интервалов 0,3– 150 г/т, в единичных случаях – более. Средневзвешенные содержания по скважинам в проницаемых породах 0,5–45 г/т, в среднем 3,05 г/т, продуктивность – 0,059 кг/м². Максимальные содержания рения фиксируются в разнозернистых (преимущественно средне-крупнозернистых с примесью гравийных зерен) черноцветных песках базальных частей ритмопачек.

Данные о содержании рения и ряда химических элементов типовых пробах в Брикетно-Желтухинского месторождения приведены в таблице 3.30. Ниже, в таблице 3.31 для сравнения приведены содержания рения и ряда химических элементов в пробах, обогащенных рением (более 15 г/т). Как видно, в обогащенных рением песчано-глинистых пробах фиксируются высокие (по сравнению с рядовыми пробами) концентрации Cd, Se, Zn, Mo и U, а в углях, обогащённых рением – Se, Cd, U, Zn, Mo.

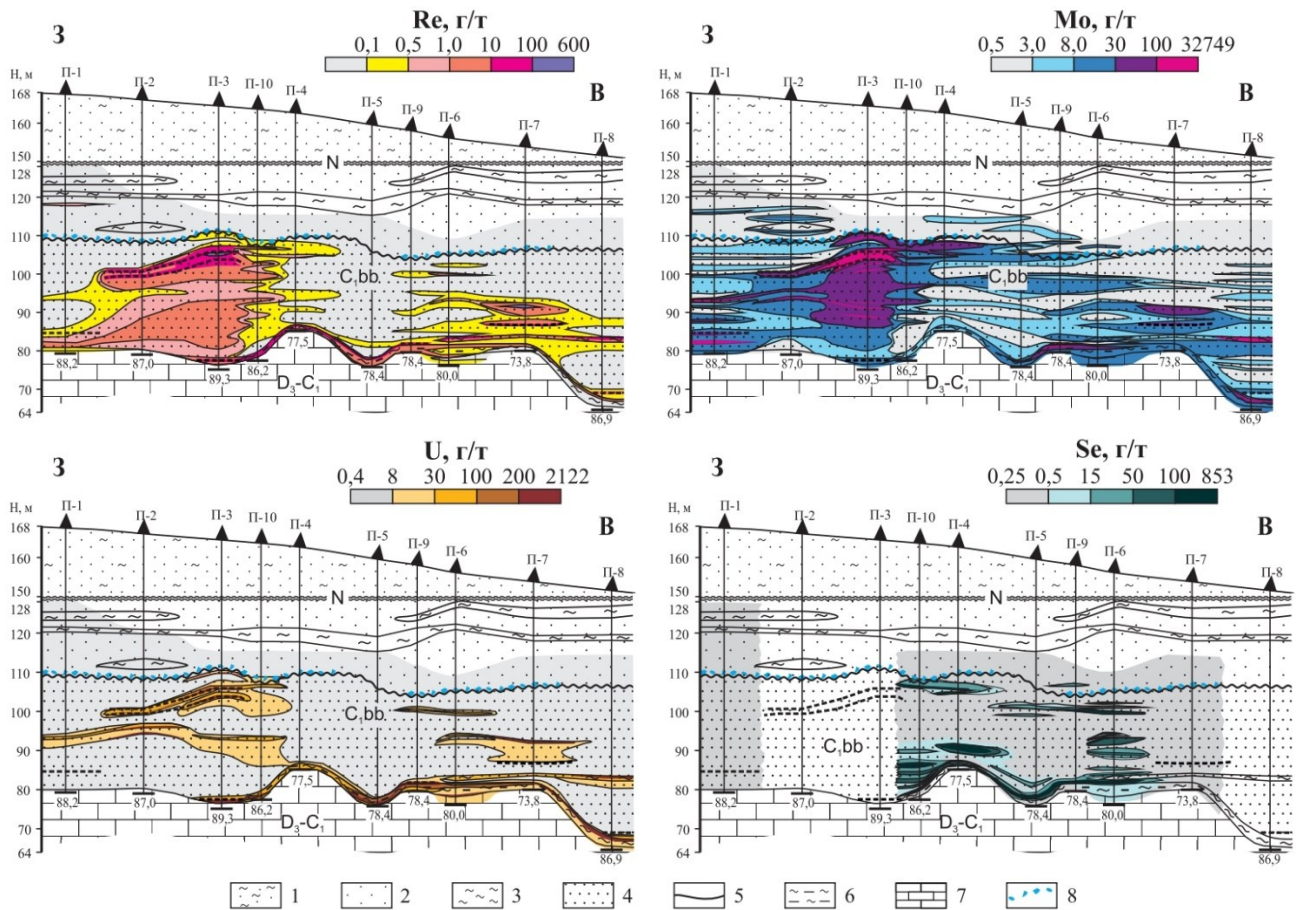


Рисунок 3.24. Геолого-геохимические разрезы по линии субширотного профиля скважин П1-П8 на Брикетно-Желтухинском месторождении с распределением содержаний рения, молибдена, урана и селена [Карась и др., 2017]

1 – неоген-четвертичные глины и пески; 2, 3 – неогеновые отложения: 2 – пески, 3 – алевро-глинистые отложения; 4, 5 – нижнекаменноугольные отложения бобриковского горизонта: 4 – пески, 5 – немасштабные прослои углей, углефицированных глин и алевролитов с сульфидами; 6 – глинистые породы с большим количеством углей, сульфидов, обломков карбонатных пород и карбонатных глин; 7 – карбонатные породы «известнякового фундамента» (D_3-C_1); 8 – обломки кремней.

Интервалы с максимальными содержаниями рения, урана и молибдена пространственно сближены, однако, Re обнаруживает высокие содержания ($> 0,5$ г/т) еще и там, где практически отсутствуют U и Mo. Последнее позволяет сделать вывод о том, что Re как элемент, мигрирующий при более высоких Eh чем U и Mo, способен формировать промышленные залежи шире ореолов распространения урана и молибдена.

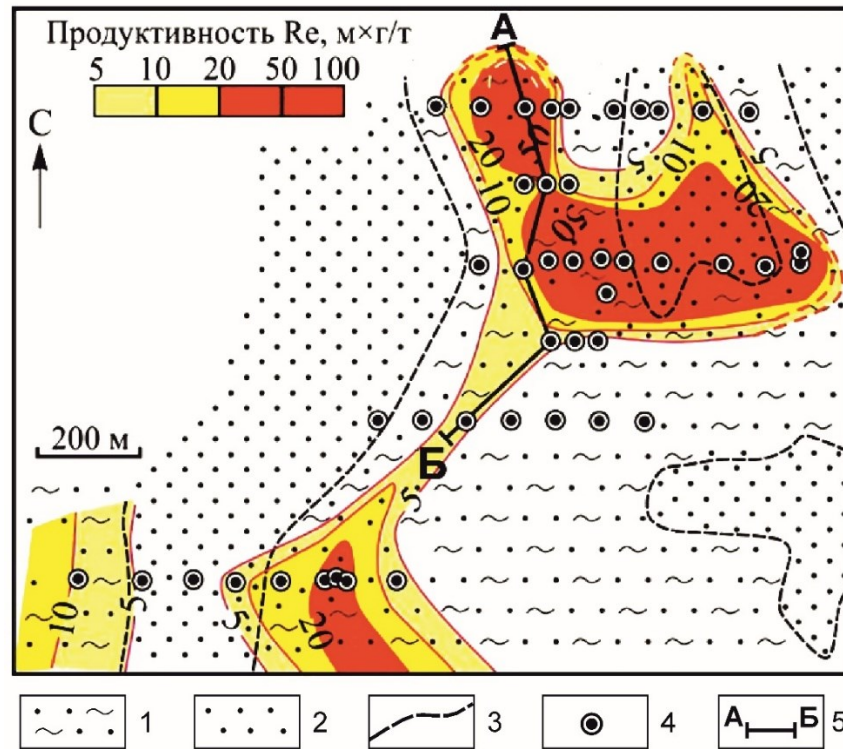


Рисунок 3.25. Изолинии продуктивности рениевого оруденения в отложениях бобриковского горизонта Брикетно-Желтухинского месторождения на литолого-фациальной схеме по [Карась и др., 2017; Кайлачаков, 2021] с дополнениями автора.

1- пески с прослоями и линзами углистых глин, углей, алевролитов (прирусловые отложения), 2 – пески разномерные с гравием, с редкими прослоями глин (русловые отложения); 3 – границы распространения разнофациальных фаций отложений; 4 – скважины; 5 – линия разреза по линии А - Б, приведенного на рисунке 3.26.

В результате работ ИМГРЭ на БЖМ [Карась и др., 2016; 2017] в распределении U, Mo, Se и Re была выявлена эпигенетическая зональность роллового типа, характерная для объектов, образованных пластово-инфильтрационным эпигенетическим процессом [Перельман, 1980; Максимова, Шмариович, 1993] (Рисунок 3.24-3.26). Центральная часть ролла приурочена к наиболее проницаемым участкам разреза (средне-крупнозернистые пески), а крылья ролла – к наименее проницаемым тонко-среднезернистым пескам [Карась и др., 2016, 2017; Викентьев, Кайлачаков, 2020]. Предполагается, что зона окисления продвигалась с севера на юг. Было установлено, что зональность наложена на первичное (бобриковское) распределение U, Mo, Re и Se в разрезе, определяемом литофациальными особенностями разреза. Первоначально оруденение было приурочено к участкам (полосам) соприкосновения палеорусловых и старично-пойменных отложений. Локализация рудных содержания в ролловой зональности также контролируется характером распределения восстановителей (углистоое вещество) в рудовмещающей толще.

Таблица 3.30 – Средние содержания Re и ряда химических элементов в пробах различных уровней (C₁bb и D₃-C₁) разреза скв. Г6 Брикетно-Желтухинского месторождения, ИСП МС, г/т. Составлена автором с использованием авторских данных и [Карась и др., 2015ф]

Состав и возраст	Песчано-глинистые угленосные отложения (C ₁ bb)						Доломиты, известняки, карбонатные брекчии (D ₃ -C ₁)				Предел обнаружения
	менее 1 г/т (n = 46)			более 1 г/т (n = 7)			менее 1 г/т (n = 31)			более 1 г/т (n = 2)	
	ср	макс	мин	ср	макс	мин	ср	макс	мин	ср	
Re	0,382	0,998	0,07	3,40	7,88	1,05	0,232	0,758	0,017	3,10	0,01
U	16,02	279	1,59	33,42	145	2,26	13,6	38,0	6,1	95,55	0,01
V	16,0	289	2,8	51,1	113,0	6,0	14,6	44,5	3,4	76,1	0,2
Mo	63,2	832	1,5	171,5	677	6,7	57,7	762	1,8	159,2	0,1
Cu	31	436	3	35	156	7	70	641	2	38	1
Co	70	838	6,2	31,2	53,3	22,9	9,5	25,0	4,7	30,4	0,1
Ni	65	432	8	43	92	22	13	28	8	51	1
Zn	30	183	4	26	46	17	54	641	4	247	1
Pb	27,01	385	1,53	15,73	42,20	2,13	5,10	16,60	1,41	20,90	0,10
Bi	0,02	0,08	0,01	0,07	0,19	0,01	0,03	0,09	0,01	0,30	0,01
Cd	0,09	0,35	0,01	0,45	1,42	0,13	0,12	0,70	0,03	0,41	0,05
Sb	0,17	0,63	0,04	0,44	1,03	0,12	0,45	3,38	0,10	0,89	0,10
As	22,2	107	6,6	84,7	290	12,3	10,3	27,3	3,4	48	0,1
Ag	0,18	0,58	0,01	32,99	223	0,14	0,1	0,29	0,01	0,69	0,05
Se	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,0	0,0	1,5	2,7	0,5	<0,5	0,5
Tl	1,24	7,27	0,26	4,24	10,60	1,07	0,95	3,07	0,30	2,95	0,01
Mn	165,1	1482	44,4	202	352	72,8	741,8	1380	286	370	15,5
Fe	13997	22513	7921	74696	219944	13204	10354	18670	3989	26036	56

Примечание: n – количество проб, ср – среднее значение, макс – максимальное значение, мин - минимальное значение.

Таблица 3.31 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в обогащенных рением (более 15 г/т) пробах различных уровней разреза по профилю «П» Брикетно-Желтухинского месторождения, ИСП МС, г/т. Составлена автором с использованием [Карась и др., 2015ф]

Порода, кол-во проб	песок светло-серый (n = 1)	песок черный углистый (n = 2)	глина черная (n = 2)	уголь черный с сульфидной конкрецией (n = 2)	Уголь (n = 1)	Предел обнаружения
Скважина, интервал, м	ПЗ, 58,7 - 58,9	ПЗ, 58,1 - 58,7	П7, 61,9 - 62,15	ПЗ, 58,9 - 58,95	П2, 67,6 - 67,7	
Re	15,3	23,6	148,9	170,5	32,5	0,01
U	75,1	115	522,55	1425,5	173	0,01
V	56,4	92,5	203,4	578	743	0,2
Mo	574	484	5571,5	4948	139	0,1
Cu	30,1	31,05	43,2	30,35	85,6	1
Co	122	107,4	403	1209	125	0,1
Ni	146	172,15	306,5	1847,5	75,4	1
Zn	719	448	147,65	1668	252	1
Pb	43,8	236,7	44,15	290,5	58,2	0,1
Bi	0,032	0,092	0,202	0,419	0,306	0,01
Cd	27,2	24,29	5,09	41,6	5,62	0,05
Sb	0,24	0,32	0,87	0,143	1,36	0,1
As	69	100,9	183,7	811,5	157	0,1
Ag	1,19	3,32	15,62	6,53	5,98	0,05
Se	9,52	18,00	255,6	281	154	0,5
Tl	1,34	3,445	3,33	24,35	6,72	0,01
Mn	76,4	129,35	68,6	67,35	152	15,5
Fe	26756	30959	24828	90932	66922	56

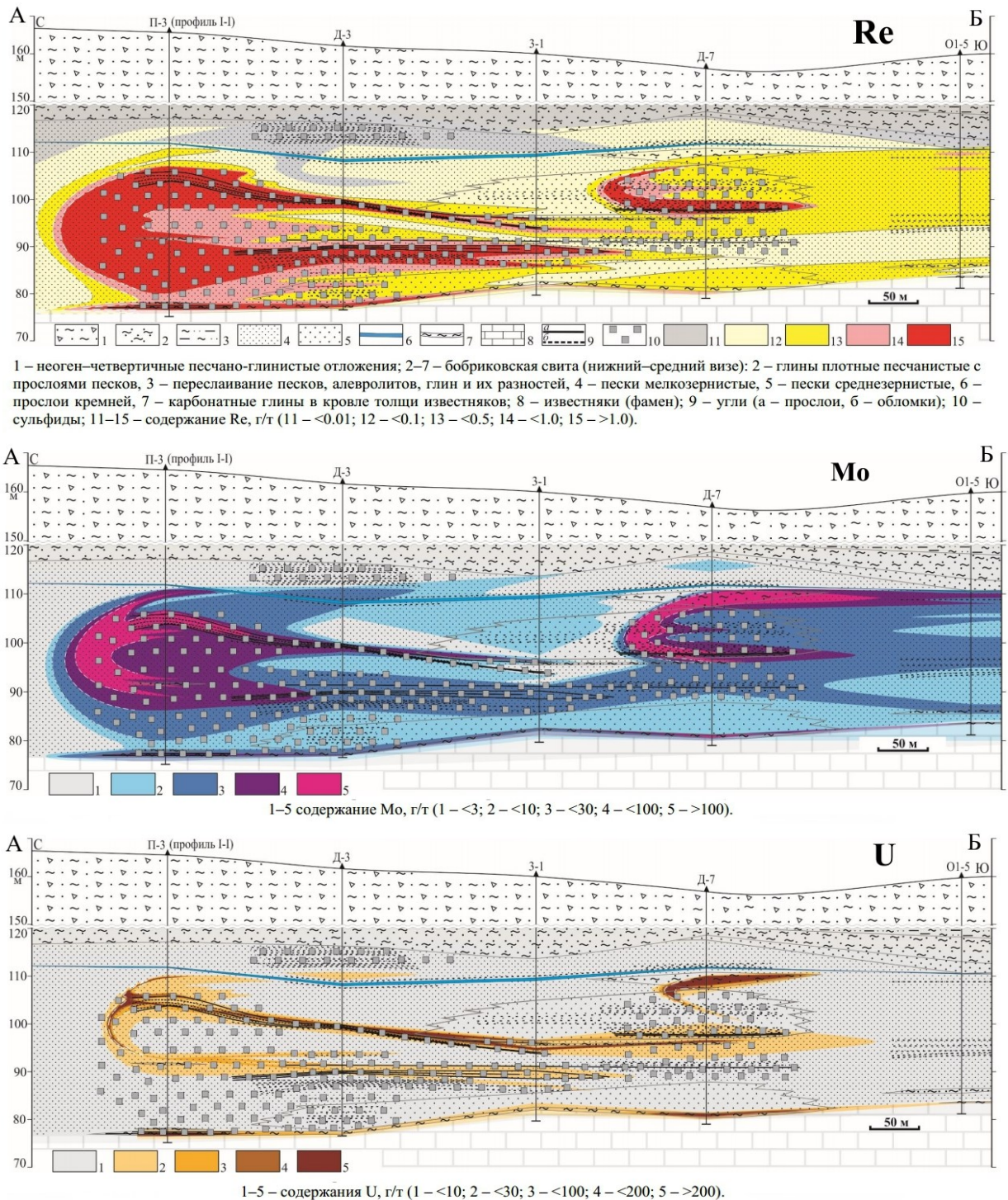


Рисунок 3.26. Распределение Re, Mo и U в породах бобриковского горизонта на Брикотно-Желтухинском месторождении на профиле А – Б, показанного на рисунке 3.25, по [Кайлачаков, 2021]

Вероятнее всего, ролловая зональность была сформирована в неоген-четвертичное время при поступлении пластовых кислородных вод в проницаемые породы бобриковского горизонта с севера из четвертичных долин (реки Верда, Молва), врезанных в рудовмещающие отложения. При этом можно полагать, что пластово-инфильтрационный процесс мог начаться и ранее – в неогеновое время вследствие поступления вод из неогеновых отложений верховьев палео-Дона, залегающих непосредственно на рудовмещающих отложениях нижнего карбона.

Северо-Алексеевское Re-Mo-U проявление расположено в Скопинском районе Рязанской области в 70 км к северу от Брикетно-Желтухинского месторождения, занимает площадь $3,5 \times 2$ км и вытянуто в северо-восточном направлении. Оно было выявлено в середине 1960-х годов как урановый объект. Радиоактивные аномалии были установлены в широком стратиграфическом диапазоне отложений от позднего девона до среднего карбона и, в частности, в отложениях карбона – верейский, окский, тульский, бобриковский горизонты, в диапазоне глубин 78–187 м. Мощность рудных пересечений – от 0,15 до 0,95 м с содержанием урана от 0,003 до 0,254 %, в среднем 0,03 %. Максимальные содержания урана связаны с глинистыми слоями в сероцветных песках. Порода насыщена углефицированной растительной органикой и залегают в толще осветленных песков того же состава. Урановая минерализация сопровождается ореолами Re, Mo и Se (до 83 г/т).

Ореолы Re, установленные в бобриковских отложениях, сопряжены как с ураново-рудными интервалами, так и оторваны от них. Средневзвешенное содержание Re в ореоле – 1,8 г/т. В отдельных пробах содержания рения достигают 30–50 г/т, что сопоставимо с богатыми рениевыми рудами БЖМ. Ореол рениевой минерализации в виде разобщенных линз прослеживается на 1,8 км в юго-восточном направлении до скв. 1098, где вскрыты четыре интервала рениевой минерализации мощностью от 0,2 до 2,2 м с содержаниями, незначительно превышающими 0,5 г/т.

Таким образом, в результате обобщения материалов предлагается следующая модель формирования Re-Mo-U оруденения Брикетно-Желтухинского месторождения.

- первичное (синдиогенетическое) накопление Re в угленосных отложениях нижнего карбона как за счет сноса с краевой северной части Воронежского массива (по аналогии с ураном [Расулова и др., 2007]), так и при поступлении его из глубины (эксфильтрация) в составе металлоносных эксфильтрационных растворов по тектоническим зонам. Глубинные гидротермальные очаги могли располагаться в краевых частях Пачелмского авлакогена и в зонах фундамента, осложненных локальными тектоническими структурами типа Калужской и Дугнинской кольцевых структур, приуроченных к северо-западной части Калужско-Бельской тектонической зоны [Петров, 1971];

Контроль Re-Mo-U оруденения комплексом угленосных отложений нижнего карбона, содержащим в своем составе проницаемые алевро-песчаные отложения, выполняющие систему протяженных палеодолин (палеорусел). Палеодолины врезаются в подстилающие отложения «известнякового фундамента» преимущественно на участках проявления в нем тектонических нарушений (разломы, зоны трещиноватости и брекчирования), часто осложненных секущими зонами доломитизации и окварцевания. Такие зоны, расположенные в цоколе палеодолин, могли быть каналами для вертикальной миграции флюидов, в том числе рудоносных.

- проявление инфильтрационного эпигенеза в киммерийскую эпоху (конец триаса – середина мела) или в неоген-четвертичное время, что привело к формированию богатых Re-Mo-U руд. Обогащение «первичных» (синдиогенетических) содержаний рения и его спутников (U, Mo, Se) за счет проявления инфильтрационного эпигенеза в неоген-четвертичное время в связи с продвижением фронта подземных кислородсодержащих вод, поступающих из неогеновых и четвертичных врезов или участков разрывных нарушений и повышенной трещиноватости в рудовмещающие угленосные отложения нижнего карбона.

Разрушение сформированных рудных тел, содержащих рений и его элементов-спутников на участках отсутствия «покрышки» рудовмещающих отложений верхневизейскими и/или мезозойскими отложениями. Открытость рудовмещающей угленосной толщи бобриковского горизонта окислительным эпигенетическим процессам в течение длительного времени приводит к перераспределению рудных содержаний и разрушению сформированных рудных залежей.

Данная модель была сформулирована автором в 2019 году [Енгальчев, 2019г]. Позднее она была дополнена [Викентьев, Кайлачаков, 2020; Кайлачаков и др., 2020].

В размещении объектов рассматриваемой формации проявлен контроль со стороны палеодолин, в пределах которых оруденение располагается в их бортовых частях, а также на флангах угольных залежей, на участках их размыва и фациальных переходов в угленосных отложениях палеодолин, а также на участках резкого изменения направления или конфигурации палеодолин.

На размещение рудных объектов рассматриваемой формации оказывает влияние расположение участков и геологических структур, по которым происходило поступление пластовых кислородсодержащих вод в угленосные отложения. В качестве таких структур на Брикетно-Желтухинском месторождении выступают неогеновые и юрские врезы в угленосную толщу бобриковско-тульских отложений, между которыми установлена гидравлическая связь.

Установлено, что практически все выявленные Re-Mo-U объекты, рассматриваемого района, четко проецируются на межблоковые шовные зоны в кристаллическом фундаменте [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011]. В структуре осадочного чехла Re-Mo-U объекты локализованы в унаследованной от фундамента фанерозойской структуры – Калужской ступенчатой моноклизе. Также ренийсодержащие объекты размещаются в краевых частях авлакогенов: Бельское месторождение - восточное плечо Крестцовского авлакогена, Брикетно-Желтухинское, Северо-Алексеевское проявление и другие – западное плечо Пачелмского авлакогена.

3.3.8. Молибденовая в пестроцветных отложениях

Объекты данной формации установлены в девонских пестроцветных отложениях на северо-западе Русской плиты и представлены: Печорским Re-Mo-U проявлением в Псковской области [Енгальчев, 2011в; 2012в; 2013а,в], Находский пунктом минерализации в Новгородской областях [Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018]. Кроме того, в качестве близких аналогов, пока не изученных на рений, рассматриваются проявления Лиэпа (Mo, U) на территории соседней Латвии [Куршс, 1992] и Ловатское Mo-U проявление в нижнем течении реки Ловать (Старорусский район, Новгородская область), где оруденение локализовано в пестроцветных отложениях верхнего девона [Енгальчев, 2012б].

В породах данной формации рений ассоциирует с U, Mo, Ag, V, Se.

1. Печорское Re-Mo-U проявление. Оно приурочено к нижней части комплекса верхнедевонских отложений (гауйская свита, швентойский горизонт) и расположено на территории Печорского месторождения тугоплавких глин, разрабатываемого открытым способом для производства керамической плитки (ООО «Евро-Керамика», г. Печоры) (Рисунок 3.27).



Рисунок 3.27. Общий вид Печорского карьера по добыче глин у г. Печоры на западе Псковской области

Печорское урановое проявление было выявлено в 1970-е годы при поисках урана геологами Северо-Западного ПГО (Э. Ю. Саммет и др.). Позднее была определена молибден-урановая специализация проявления [Куршс, Саммет, 1981; Енгальчев, 2011е], а также выявлены высокие содержания рения [Енгальчев, 2012в; 2013а,в].

Рений-молибден-урановое оруденение приурочено к прослоям алевролитов и песчаников в глинах гауйской свиты и в кровле отложений буртниецкого горизонта.

Гауйская свита в нижней части Печорского карьера сложена серыми, голубовато-серыми тугоплавкими глинами, содержащими редкие прослои алевролитов и тонкозернистых песчаников общей мощностью около 10–12 м. В глинах гауйской свиты присутствуют остатки костного детрита панцирных рыб, фосфатные конкреции лепешковидной формы и железисто-фосфатно-глинистые конкреции почковидной формы, содержащие в своем ядре обломки ихтиофауны. Отложения гауйской свиты сформировались в подводно-дельтовых условиях.

Глины залегают на неровной поверхности мощной (до 180 м) толщи песчаных отложений буртниецкого и подстилающего его арукюлаского горизонтов среднего девона, которые плавно погружаются в юго-восточном направлении.

Рудовмещающие отложения гауйской свиты имеют специфическую окраску. Глины нижней части свиты окрашены в серый, голубовато-серый цвет (холодных оттенков), а в верхней части выделяются два выдержанных прослоя, окрашенных в малиново-красный цвет, что указывает на интенсивное проявление эпигенетических изменений восстановительного характера (оглеение), обусловивших активную миграцию ряда химических элементов (Mo, Se, U, As, Re, V, Co и др.). Эпигенетические изменения наиболее интенсивно проявлены в тонкодисперсных алевритистых глинах, что определяется их более высокой водопроницаемостью по сравнению с «чистыми» глинами. Окраска пород изменяется с желтой на серую и светло-серую.

Черные сажистые рений-молибден-урановые обособления (Рисунок 3.28) располагаются преимущественно в юго-восточной части Печорского карьера и образуют вытянутую полосу, протягивающейся в северо-восточном направлении. Наиболее интенсивное развитие рений-молибден-урановой минерализации приурочено к нижней части свиты и прослоям серых глин.

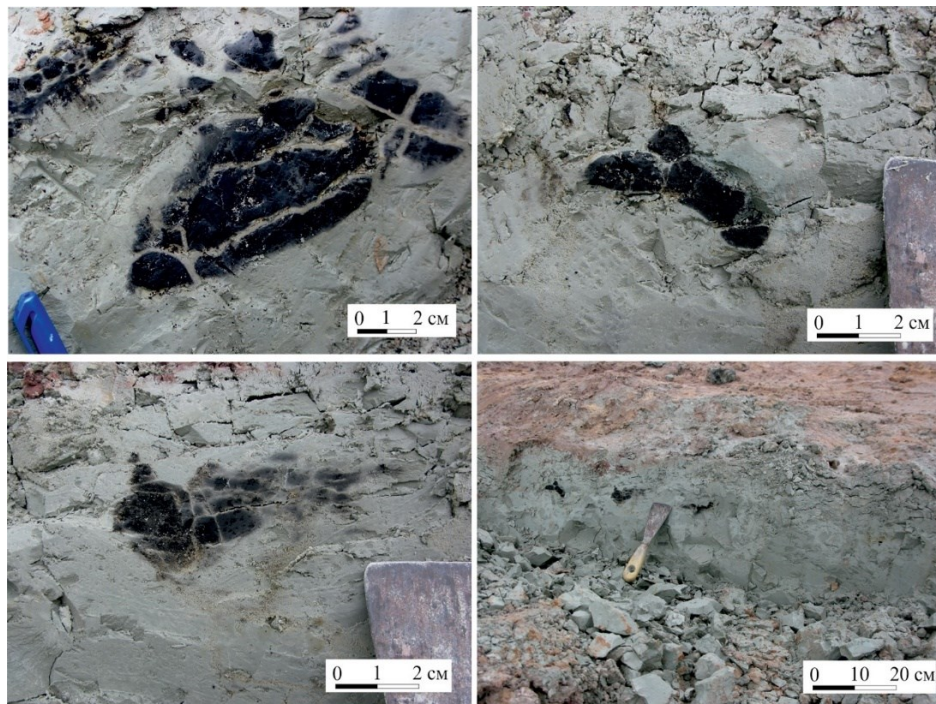


Рисунок 3.28. Рений-молибден-урановые обособления в голубовато-серых глинах гауйской свиты (верхний девон) на Печорском проявлении

Выделяется несколько морфологических типов Re-Mo-U обособлений.

1. Плотные обособления дисковидной формы 3–7 см в диаметре, окруженные каймами чернильно-синего цвета во вмещающих глинах мощностью 0,5–2 см. В нижней части свиты такие обособления широко распространены и на некоторых участках рассеяны по массе

породы, образуя зоны мощностью 1–1,5 м при протяженности 8–12 м. С этой разновидностью обособлений связаны наиболее высокие содержания U (до 0,53 %), Mo (до 7,29 %), Re (до 3,49 г/т), а также Se, V, Y и As. Их радиоактивность от 130 до 320 мкР/ч.

2. Черные глинистые алевролиты с редкими прослоями песчаников. Такие участки образуют цепочки и линзы (протяженностью от 2–3 до 40–60 м при мощности от 5 до 20–30 см) или выделения неправильной субпластовой формы. Окраска отчетливо сечет слоистость. Рений-молибден-урановая минерализация в линзах представлена сажеподобной массой, развивающейся в цементе песчаных и глинистых алевритов. При увеличении мощности алевропесчаных прослоев рассеянная Re-Mo-U минерализация наблюдается только в приконтактной части пласта.

3. Re-Mo-U минерализация в виде заполнения трещин протяженностью 10–15 см. Она была установлена вблизи рудных обособлений первого типа.

Re-Mo-U образования слагают налеты, тонкодисперсные примазки и часто располагаются в межзерновом пространстве песчаников и алевролитов. Некоторые агрегаты имеют форму чешуек, пластин, почек. Содержание ряда химических элементов типичных проб Re-Mo-U включений и вмещающих пород приведены в таблице 3.32. В составе включений присутствуют урановые черни, иордизит (MoS_2). Содержание органического вещества в рудных включениях 0,046–0,05 (до 0,15 %). По данным растровой электронной микроскопии в новообразованиях установлены пирит, марказит, халькопирит, пирит, таблички молибденита и барит. В чернильно-синих каемках выявлены молибденит и тонкокристаллический пирит. После вскрытия пласта, содержащего Re-Mo-U образования, они начинают интенсивно окисляться, покрываются водорастворимыми чернильно-синими, синими, голубовато-синими рентгеноаморфными налетами, водной окиси молибденита – ильземаннита.

Минеральные формы рения не диагностированы, однако, вероятнее всего, рений приурочен к минералам молибдена, и входит в них изоморфно.

Формирование черных Re-Mo-U стяжений трактуется различно: некоторые исследователи относят его к син-диагенетическим [Грушевой, Оношко, Наумов, 1996], другие к эпигенетическим [Куршс, Саммет, 1981; Куршс, 1992; Шор и др., 1999; Недра ..., 2003] образованиям.

В Печорском карьере фиксируется эпигенетическая зональность, проявленная в частности в изменении окраски пород и содержании ряда химических элементов, в том числе и рения. Однако, высока вероятность того, что такая зональность наложена на первичные син-диагенетические концентрации рения.

Таблица 3.32 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в Re-Mo-U стяжениях и вмещающих глинах Печорского Re-Mo-U проявления,

ИСП МС, г/т

Характеристика	Re-Mo-U черные сажистые стяжения (n = 5)			околорудные светло-серые глины (n = 5)			вмещающие безрудные бежевые, зеленовато-серые и серые глины (n = 3)			Предел обнаружения
	среднее	макс	мин	среднее	макс	мин	среднее	макс	мин	
Химический элемент										
Re	2,1	3,94	0,89	0,11	0,24	0,02	<0,005	<0,005	<0,005	0,005
U	2472,4	5300	147	700,3	1370	15,1	4,3	5,1	3,8	0,1
V	519,8	668	405	231,4	381	120	110,7	132	73,2	2,5
Mo	50940	72900	23600	3520	8660	10,2	5,2	9,1	2,5	0,6
Cu	46	80	30	23	25	20	20	20	20	1
Co	80	80	80	32	60	20	14,7	20	12	1
Ni	60	60	60	40	60	30	31,7	40	25	1
Zn	190	300	100	66	80	50	66,67	80	60	1
Pb	41	60	25	19,4	25	12	12	12	12	1
Sb	10,67	27,3	2,23	1,15	2,53	0,32	0,48	0,59	0,36	0,1
As	315,2	582	104	82,01	246	1,88	1,97	2,46	1,26	1
Ag	0,11	0,20	0,06	0,04	0,06	0,01	0,04	0,04	0,04	0,01
Se	3,49	6,58	0,72	0,97	1,21	0,72	0,8	0,9	0,63	0,3
Sc	4,8	5	4	6,8	10	6	9,33	10	8	0,2
Ge	0,5	2,5	0,1	0,4	2	0,1	нд	нд	нд	0,1
Sr	49,3	55,40	43,5	67,64	90,9	54	85,9	97,5	75,1	1
Ba	435,8	469	385	533,8	625	481	3232,33	8780	408	3
Au	0,006	0,008	0,003	0,002	0,004	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002

Примечание: n – количество проб, макс – максимальное значение, мин - минимальное значение.

К пользу эпигенетической природы Re-Mo-U новообразований Печорского проявления свидетельствуют «молодой» возраст оруденения - 70–110 млн лет. (меловое время) [Иванова, Грушевой, 2009].

В соответствии с палеогидрогеологическими исследованиями, данный временной интервал отвечает эпохе интенсификации движения окислительных растворов и развитию гипергенных процессов в этой части Русской плиты [Региональный ... , 2001].

Расположение Печорского проявления вблизи региональной Лиепае-Рижско-Псковской зоной разрывных нарушений и несколькими валлообразными поднятиями фундамента, свидетельствуют о тектонической нарушенности осадочного чехла района и возможности реализации здесь восходящей миграции флюидов (вода, сероводород, углеводороды) по проницаемым зонам в чехле. Именно в пределах таких зон были сформированы условия, благоприятные для формирования Re-Mo-U оруденения.

Вопрос об источнике вещества Re-Mo-U образования остается открытым. Однако, учитывая приуроченность проявления к региональной зоне тектоническим нарушениям и вблизи поднятия в фундаменте, можно предположить, что первичный источник Mo и Re связан с кристаллическим фундаментом и глубоким горизонтами чехла. В пользу последнего свидетельствует наличие в рудах повышенных концентраций As, Ag, Sb, Se, V. Кроме того, можно допускать мобилизацию вещества из вмещающих девонских отложений. Такое предположение находит подтверждение в повышенном содержании молибдена в глинах гауйской свиты и ее возрастного аналога – лодеской свиты [Куршс, Саммет, 1981].

Таким образом, Re-Mo-U оруденение Печорского проявления относим к эпигенетическому. На первом синдиagenетическом этапе в девонских осадках фиксировались уран, молибден, рений и другие редкие элементы. Позже в мезозойское время, в эпигенетическом процессе шло перераспределение материала и формирование рудных обособлений.

2. Находский пункт Re-Mo-U минерализации. В ходе проведения картировочного бурения при ГК–200 [ГГК, О-36-XXVI..., 2022] в Холмской районе Новгородской области в керне скв. 1 (инт. 67,18–67,22 м) был выявлен Re-Mo-U Находский пункт минерализации, приуроченный к породам куньинской свиты верхов франского яруса верхнего девона [Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018].

Re-Mo-U оруденение выявлено в средней части сероцветного глинисто-песчаного прослоя (инт. 67,1–67,7 м) в толще красноцветных глинистых отложений. Аномалия радиоактивности интенсивностью до 140 мкР/ч приурочена к сажисто-черному прослою глинистого, алевро-глинистого материала мощностью 1–2 см, находящемуся в светло-серых глинах, содержащих прослой тонкозернистого кварцевого песчаника.

В породах рудного интервала кроме высоких содержаний U (до 0,5 %), Mo (до 1 %), Re (до 1 г/т) также установлены высокие содержания V, Ni, Ag и Pb (Рисунок 3.29, Таблица 3.33).

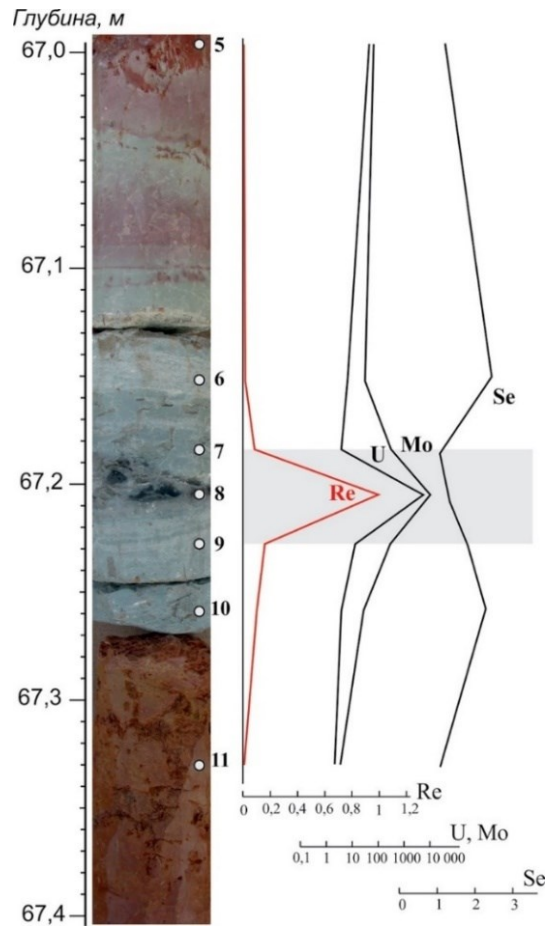


Рисунок 3.29. Керн и вариации содержания Re, U, Mo, Se и Sc на Находском пункте минерализации в Новгородской области, г/т

В породах рудного интервала с использованием растрового электронного микроскопа диагностированы повеллит (CaMoO_4) и вульфенит (PbMoO_4). Вульфенит фиксируется в виде мелких обособлений и содержит примесь урана (в среднем 9,03 %), а также Fe, Cu, Zn (Рисунок 3.30). Повеллит (был диагностирован также с использованием рентгенофазового анализа) образует небольшие, пространственно сближенные минеральные выделения в глинистой массе или слагает «корки», реже образует зональные образования.

Минеральные фазы Re в пробах не установлены. Однако, можно предполагать его присутствие в виде примеси в повеллите и вульфените или в составе субмикронных выделений, не диагностируемых на используемом электронном микроскопе.

Выявленное Re-Mo-U оруденение было сформировано в два этапа.

Таблица 3.33 – Содержания рения и ряда химических элементов в типовых пробах Находского пункта минерализации в сравнении со средним составом глин Русской платформы, ИСП МС, г/т

Химический элемент	песчаник светло-серый (обр. №6)	глина серая (обр. №7)	глина серая (обр. №8)	песчаник светло-серый (обр. №9)	глина серая песчанистая (обр. №10)	глины [Ронов Мигдисов, 1996]
Re	0,02	0,084	1	0,16	0,1	нд
U	6,29	3,76	5360	11,3	3,92	3,8
V	96,5	91,9	475	119	182	95
Mo	30,5	319	10600	313	32,5	1,4
Cu	17,4	72,6	71,4	48,3	379	30
Co	12,8	144	65	39	28	16
Ni	34,1	231	202	199	201	44
Zn	84,7	111	249	129	98,2	74
Pb	16,9	194	192	19,5	25,4	18
Bi	0,24	0,99	1,08	0,99	0,33	0,12
Cd	<0,1	<0,1	0,94	<0,1	<0,1	0,09
Sb	0,33	0,29	7,2	0,46	0,32	1,1
As	1,94	1,33	245	2,09	2,09	нд
Ag	0,056	0,86	1,78	1	0,34	нд
Hg	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	нд
Se	2,45	1,08	1,31	1,85	2,3	нд
Tl	0,68	0,85	1	1,3	0,94	0,4
Sc	18,6	19,3	20,2	18,1	20,9	16,8
Ga	23,8	24,7	33,5	22,9	28	23
Ge	2,25	2,23	4,37	2,17	2,41	нд
Sr	487	465	542	400	471	236
Ba	328	324	290	311	336	415
Y	42,2	29,4	18,9	34,2	24	28
C org%	0,1	0,17	0,4	0,2	0,06	нд

Примечание: Расположение образцов показано на рисунке 3.30, справа от колонки

На первом этапе проявилась вертикальная миграция термальных металлоносных вод в осадочный чехол по зонам нарушений (разломы, зоны трещиноватости) в краевой зоне Крестцовского авлакогена, на что указывает наличие в девонских отложениях района низкотемпературной гидротермальной минерализации (барит, анкерит, галенит, пирит (часто с примесью Ni и Co), апатит) схожей с гидротермальными аргиллизитами. На более позднем этапе оруденение подверглось воздействию эпигенетических процессов, проявленных в девонской толще.

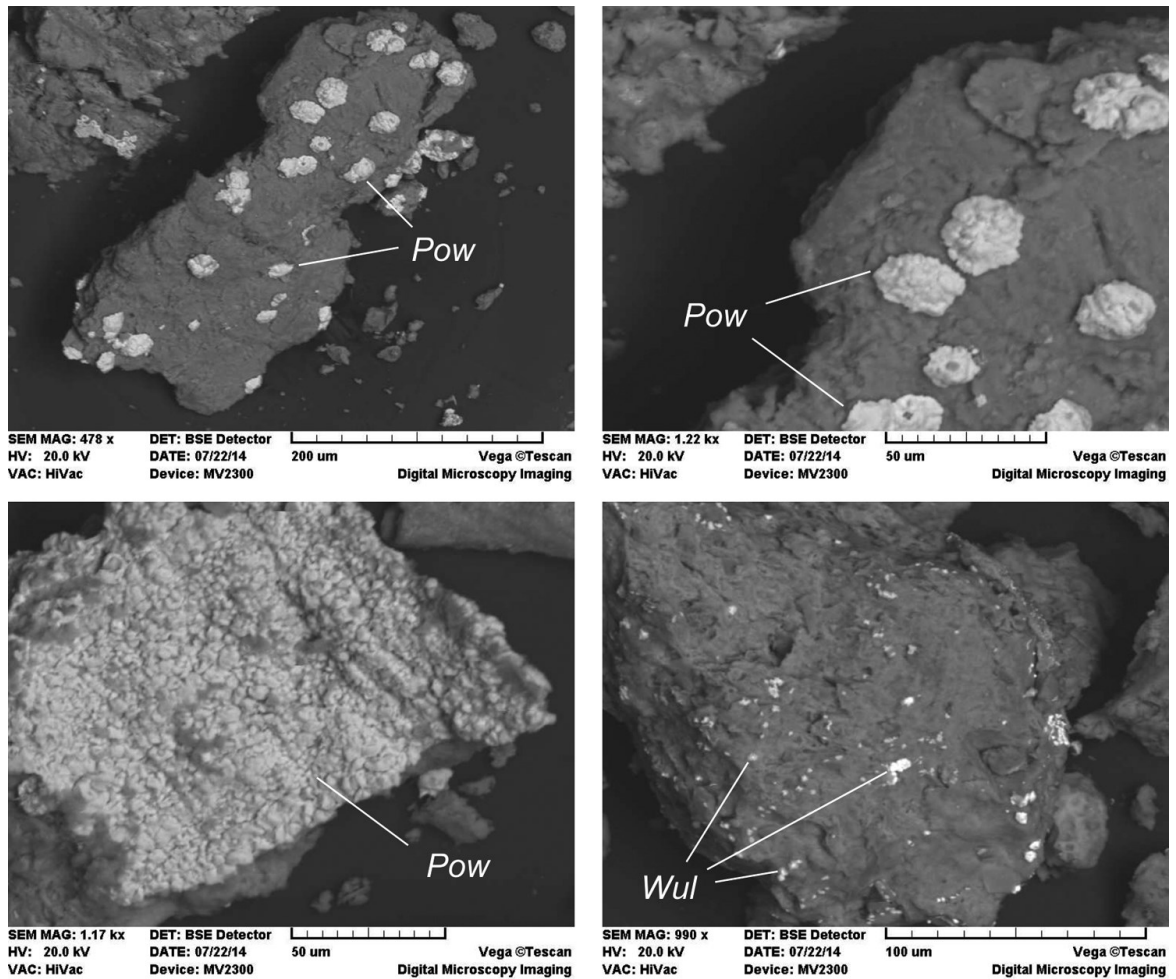


Рисунок 3.30. Повеллит и вульфенит из рудного интервала Находского пункта минерализации. Сканирующая электронная микроскопия (BSE). (Pow – повеллит, Wul – вульфенит)

Обращает на себя внимание приуроченность Находского Re-Mo-U пункта минерализации и перспективное на рений, Ловатского U-Mo проявления в краевой зоне Крестецкого авлакогена [Енгальчев, 2012б; Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018]. В данном районе фиксируются разрывные нарушения, проявленные как в осадочном чехле, так и в породах фундамента.

Таким образом, для объектов ренийсодержащей формации молибденовая в пестроцветных отложениях в локализованных в девонских отложениях на северо-западе Русской плиты (Печорское Re-Mo-U проявление, Находский ПМ и другие) рений ассоциирует с U, Mo, Ag, V, Se. В качестве источника рудного вещества рассматриваются не только первичные накопления химических элементов, сконцентрированные в ходе проявления эпигенетических процессов, но также и глубинные источники. В пользу последнего свидетельствует размещение таких проявлений вблизи крупных тектонических нарушений фундамента и осадочного чехла и/или в бортовой части авлакогенов.

В размещении объектов данной ренийсодержащей формации отчетливо проявлена закономерность, выраженная в контроле их размещения со стороны тектонических нарушений (часто проявленных и в фундаменте). Разрывные нарушения могли являться путями миграции подземных вод (возможно, термальных, низкотемпературных) и последующей их разгрузки в проницаемые толщи осадочного чехла (а, возможно, и в седиментационный осадочный бассейн). На этапе эпигенеза в позднемезозойское (?) время происходило перераспределение рудного вещества.

3.3.9. Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная

Объекты данной ренийсодержащей формации известны в различных районах мира: месторождения минерального пояса Грантс, м-е Амброзия-Лэйк (США) [Промышленные типы..., 1984]; месторождение Уэмуэл (район Маларгуэ, Аргентина); Банатская группа месторождений, (Румыния) и др. На территории ВЕП такие месторождения связаны к зонам восстановления в карбонатных толщах, и установлено в Среднем Поволжье в районе Жигулёвских дислокаций (уран-битумное месторождение Репьевское и ряд проявлений: Сызранское, Зольненское, Красноярское, Новоспасское); в зоне сочленения Складчатого Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины (уран-битумные месторождения Адамовское, Красноскольское, Берекское и ряд проявлений: Петровское, Ново-Дмитриевское, Бантышевское, Ново-Троицкое).

Данный тип оруденения по вещественному составу и условиям формирования близок к ренийсодержащим урановым месторождениям, ассоциированным с разрушающимися нефтяными залежами. Так, повышенные содержания Re обнаружены на урановых месторождениях плато Колорадо (США). Здесь Re найден в составе урановых руд в крупных месторождениях Амброзия-Лейк (0,5 г/т), Фронт-Рейнд (до 3 г/т), а также Гэс-Хиллс, Биг-Индиан и др. Распределение его неравномерное. В отдельных образцах ильземаннита Re содержится 0,2 %. Многие урановые месторождения плато Колорадо связаны с нефте- и газоносными структурами. Например, месторождение Гэс-Хиллс приурочено к формации Уинд-Ривер, перекрывающей газоносную формацию Фронтьер. Рудоносные песчаники месторождения Амброзия-Лейк расположены в нарушенной нефтеносной структуре без нефти с асфальтовым остатком. В месторождении Сан-Валей содержание Re в урановой руде изменяется от 50 до 100 г/т. В составе пород рений находится в виде водорастворимого соединения, по-видимому, Re_2O_7 . Кроме Re и Mo, в рудах обнаружены повышенные содержания следующих элементов (%): редкие земли – до 0,015; Tl 0,015; V 0,003–0,15; Sc – до 0,0004; Sr 0,03; Ni – до 0,03; Cd 0,015; Co 0,015; Cu – до 0,03; Pb – до 0,01; Zn – до 0,7. [Иванов, 1997].

При формировании эксфильтрационных рениевых объектов источником вещества являются глубокозалегающие комплексы пород, из которых Re в составе подземных вод (часто ассоциированных с углеводородами) поступал в зоны эксфильтрации (приуроченные к тектоническим нарушениям) и далее в ходе своего движения фиксировался на барьерах.

1. Репьевское уран-битумное месторождение. Оно является типовым объектом данного типа для осадочного чехла ВЕП. Месторождение расположено рядом с г. Сызрань (Самарская область) и приурочено к Жигулевскому валу, осложняющему северный склон Жигулевско-Пугачевского свода. Вал представляет собой флексуроподобную складку длиной 360 км, шириной 10–20 км, которая ограничена с севера глубинным Жигулевским разломом. Он проявлен в структурах кристаллического фундамента крупным взбросом с перепадом абсолютных отметок фундамента от –1,4 до –1,7 км. Структурные дислокации в пределах Жигулевского разлома формировались в палеозойский период. В мезозое, а затем и в кайнозое по этому разлому прошли более интенсивные вертикальные перемещения, в результате которых Жигулевский вал занял свое современное гипсометрическое положение с максимальной отметкой рельефа – 375 м на Жигулевских «горах».

Рядом с Репьевским уран-битумным месторождением располагается и несколько проявлений: Сызранское, Зольненское, Красноярское, Новоспасское и многочисленные пункты минерализации: Могутовский, Сокский, Семейкинский, Троекуровский, Губинский, Ново-Сызранский [Уран..., 2010].

Уран-битумное оруденение установлено в возрастном диапазоне от карбона до перми, но основная его часть связана с гжельским ярусом нижнего карбона. Рудовмещающими являются кавернозные и высокопористые доломитизированные известняки и доломиты, переслаивающиеся с глинистыми водоупорными пачками. Уран-битумное оруденение приурочено к локальным брахиантиклинальным и куполовидным поднятиям, осложняющим Жигулевский вал.

Репьевское уран-битумное месторождение разведано по сети $0,4 \times 0,4-0,2$ км. Оруденение локализуется в верхнем (репьевском) горизонте гжельского яруса верхнего карбона, сложенном карбонатными породами и несогласно перекрытом среднеюрскими существенно глинистыми отложениями. Репьевский горизонт мощностью от 0 до 23 м, залегающий горизонтально не более чем в 40 м от предюрской эрозионной поверхности (Рисунок 3.31, 3.32). Доломиты подвержены вторичным изменениям – закарстованы, кальцитизированы, окремнены и пиритизированы. Оруденение локализуется в верхних горизонтах наиболее разрушенных и измененных доломитов, перекрытых существенно глинистыми образованиями средней юры.

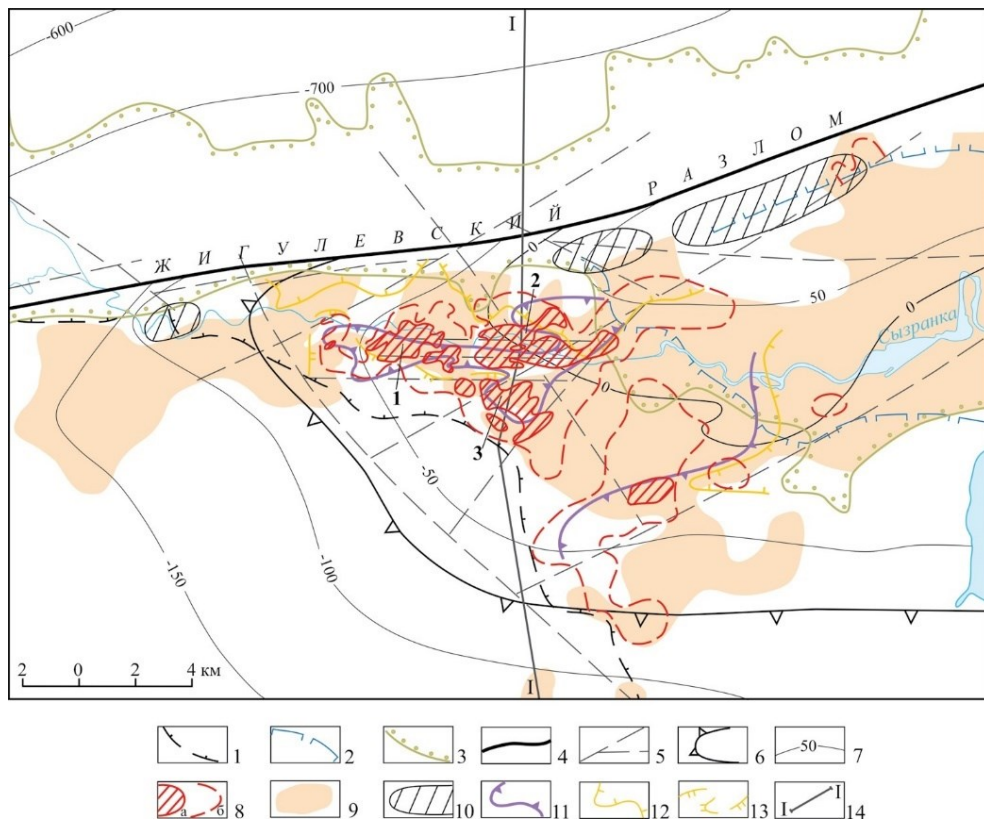


Рисунок 3.31. Схема рудоносности района Репьевского уран-битумного месторождения
 1–3 – границы: 1 – репьевского горизонта, 2 – распространения юрских отложений, 3 – развития песчано-глинистых неогеновых отложений; 4 – региональный разлом; 5 – тектонические нарушения; 6 – Сызранское валобразное поднятие; 7 – изогипсы поверхности палеозойских отложений; 8 – контуры рудных залежей – а (1 – Западной, 2 – Центральной, 3 – Южной), ореолы радиоактивности – б (> 30 мкР/ч); 9 – области развития битумов; 10 – месторождение нефти; 11–13 – участки: 11 – преимущественного развития перекристаллизованных доломитов, 12 – проявления современного окисления, 13 – реликтового окисления; 14 – линия геологического разреза I–I (см. рисунок 3.32).

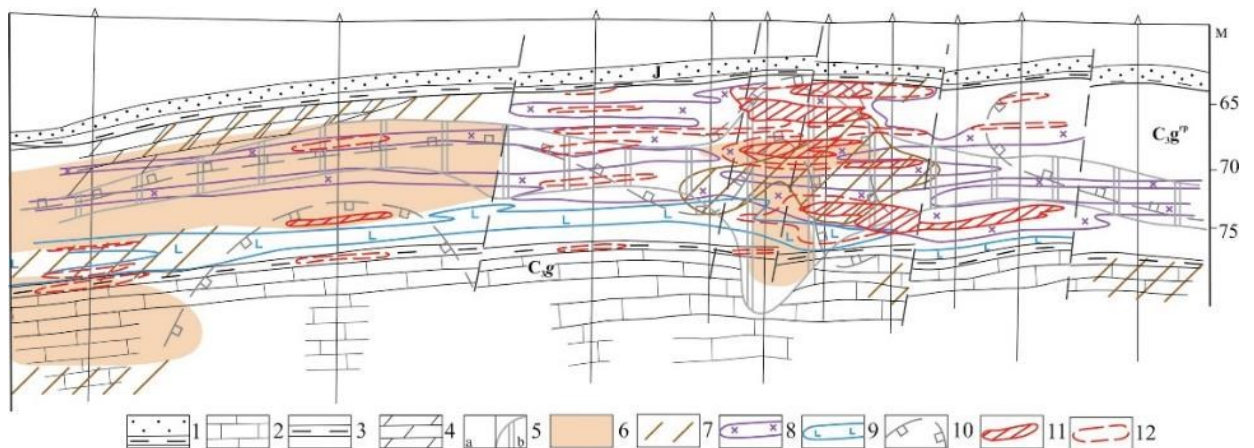


Рисунок 3.32. Эпигенетическая минерализация в разрезе продуктивного горизонта (C_2grp) на Западном участке Репьевского уран-битумного месторождения
 1 – песчано-глинистые отложения юры (J_2); 2 – известняки гжельского яруса (C_3g); 3–12 – репьевский горизонт (C_3grp): 3 – глинистый слой, 4 – доломиты пелитоморфные (неизмененные), 5 – доломиты перекристаллизованные средне-мелкозернистые (а), крупнозернистые (б), 6, 7 – битумы: 6 – антракосолиты, 7 – кериты, 8 – вторичная кальцитизация, 9 – окремнение, 10 – сульфидизация, 11, 12 – урановое оруденение: 11 – рудные тела, 12 – ореол рассеяния.

Месторождение состоит из трех сближенных рудных залежей пластообразной и линзовидной формы, имеющих субширотное простирание, протяженностью от 3,5 до 5 км, шириной 0,2–1,7 км и мощностью от 1 до 16 м. Содержания урана – от 0,019 до 0,397 % при бортовом 0,01 %. Глубина размещения рудных залежей – от 40 до 120 м. Мощность рудных залежей – от 0,1 м до 16 м, глубина залегания – 40–140 м. Содержание урана изменяется от 0,01–0,02 % на 0,2–0,5 м мощности до 0,167–0,397 % на 0,5–1,7 м. Рудные тела залегают согласно, имеют линзовидную форму в разрезе и изометрическую в плане. Ореолы эпигенетических изменений совпадают в целом с площадью развития оруденения, контролируются зонами повышенной трещиноватости и малоамплитудных разрывных нарушений и выражены в кальцитизации, доломитизации, окварцевании, битумизации, пиритизации, выщелачивании с образованием пор, каверн и карста. Помимо урана в рудах установлены повышенные содержания никеля, молибдена – до 0,05 %, меди – 0,01 %, кобальта – 0,003 %, цинка – 0,1 %, мышьяка и свинца – 0,15 %, ванадия – 0,6 %, серебра – 0,0008 %. Уран коррелирует с Ni, Co, Y, Pb, As, Ag.

Урановое оруденение сформировано эксфильтрационными телетермальными растворами, поступающими в битуминозные породы по проницаемым тектоническим зонам. По результатам изотопных исследований, оруденение имеет мезозойский (юрский) возраст – 160 млн лет.

В формировании месторождения прослеживаются три этапа разновозрастных эпигенетических процессов. К самым ранним из них относятся процессы окисления и выщелачивания карбонатных пород в предюрский период перерыва в осадконакоплении. В это время в зону гипергенеза были выведены нефтяные залежи в отложениях С₃-Р₂, активное разрушение которых под влиянием атмосферного кислорода и анаэробного биохимического окисления привело к формированию многочисленных скоплений твердых битумов типа оксикеритов и асфальтитов. Дорудный процесс карстообразования и выщелачивания карбонатных пород создал благоприятную среду, сыгравшую роль своеобразной стратиформной структурной ловушки. Вероятно, с этим этапом связано окисление, реликты которого видны на юге и юго-западе площади. Интенсивное развитие древних гипергенных процессов, связанных с продолжительными перерывами в осадконакоплении, способствовало как улучшению коллекторских свойств карбонатных пород, так и формированию активно реагирующих с ураном битумов. По данным гомогенизации газовой-жидких включений в кальцитах, сопутствующих оруденению, температуры рудоформирующих растворов соответствуют двум интервалам: 260–225 и 200–120 °С.

В завершающую стадию, связанную с альпийским этапом активизации глубинного Жигулевского разлома, вновь произошло внедрение битумов типа низших керитов и

асфальтитов, которые ассоциируют с сульфидами железа, кальцитом, гипсом и целестином. Внедрение битумов в завершающую стадию рудообразования способствовало консервации уранового оруденения. Возникшая в это время Жигулевская возвышенность создала условия для оживления гипергенных окислительных процессов.

На Репьевском месторождении в 1980-х годах проводилась опытная добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания, но была прекращена в связи с риском заражения ураном водоносных горизонтов в районе месторождения.

В рамках данной работы впервые были проанализированы на Re типовые разности пород и руд Репьевского уран-битумного месторождения (11 проб). В урановых (уран-битумных) рудах, представленных кавернозными доломитами с битуминозным веществом и сульфидами, выявлены высокие содержания (г/т): селена (до 30,5), рения (до 6,85), таллия (до 8,59), мышьяка (до 671), ртути (до 1,75), ванадия (до 4480) и молибдена (до 272) (Таблица 3.34).

Таблица 3.34 – Средние содержания рения и ряда химических элементов в типовых породах Репьевского уран-битумного месторождения, г/т

Химический элемент	Доломит (n = 1)	Доломит битуминозный (n = 3)	Доломит слабобитуминозный (n = 4)	Доломит с примесью пирита (n = 2)	Предел обнаружения
Re	6,85	0,035	0,163	1,045	0,005
U	70,5	69,17	257,4	36,8	0,1
V	4480	75,76	186,8	197	2,5
Mo	272	4,54	73,7	18,85	0,6
Cu	7,33	24	6,01	4,31	1
Co	<0,5	3,37	<0,5	<0,5	0,5
Ni	8,5	15,47	3,5125	4,39	1
Zn	4,06	9,12	1,66	2,26	1
Pb	1,55	<1,0	<1,0	1,65	1
Bi	<0,1	<1,0	<0,1	<0,1	0,1
Cd	0,23	0,16	0,12	<0,1	0,1
Sb	0,36	0,1	0,37	0,81	0,1
As	27,9	9,47	19,4	372,65	1
Ag	1,34	0,093	0,72	0,25	0,01
Hg	1,75	0,15	0,35	0,44	0,005
Se	30,5	9	3,17	14,3	0,3
Tl	0,86	0,1	0,16	4,52	0,1
Sc	0,58	0,2	0,53	1,01	0,2
Ge	<0,1	<0,1	<0,1	0,09	0,1
Sr	80,5	116,23	131,12	82,45	1
Ba	13,6	61,43	33,4	54,3	3

Анализ геохимических материалов по составу руд и вмещающих пород позволил выявить положительные корреляционные связи между рением и группой элементов – V, Mo, Se.

Наиболее высокие содержания Re (до 6,85 г/т) фиксируются вблизи урановородных тел на участках, обогащенных ванадием (до 4480 г/т), селеном, мышьяком и ртутью. В серых слабобитуминозных доломитах, являющихся вмещающими образованиями, типичные невысокие содержания рения - 0,01–0,07 г/т. По результатам исследований уран-битумных руд на растровом электронном микроскопе были установлены пирит (Рисунок 3.33), минеральные фазы ванадия (хеггит, различные по составу ванадаты, шерветит, диклуазит, ферванит), селена (клаусталит), молибдена (иордизит, повеллит, молибденит).

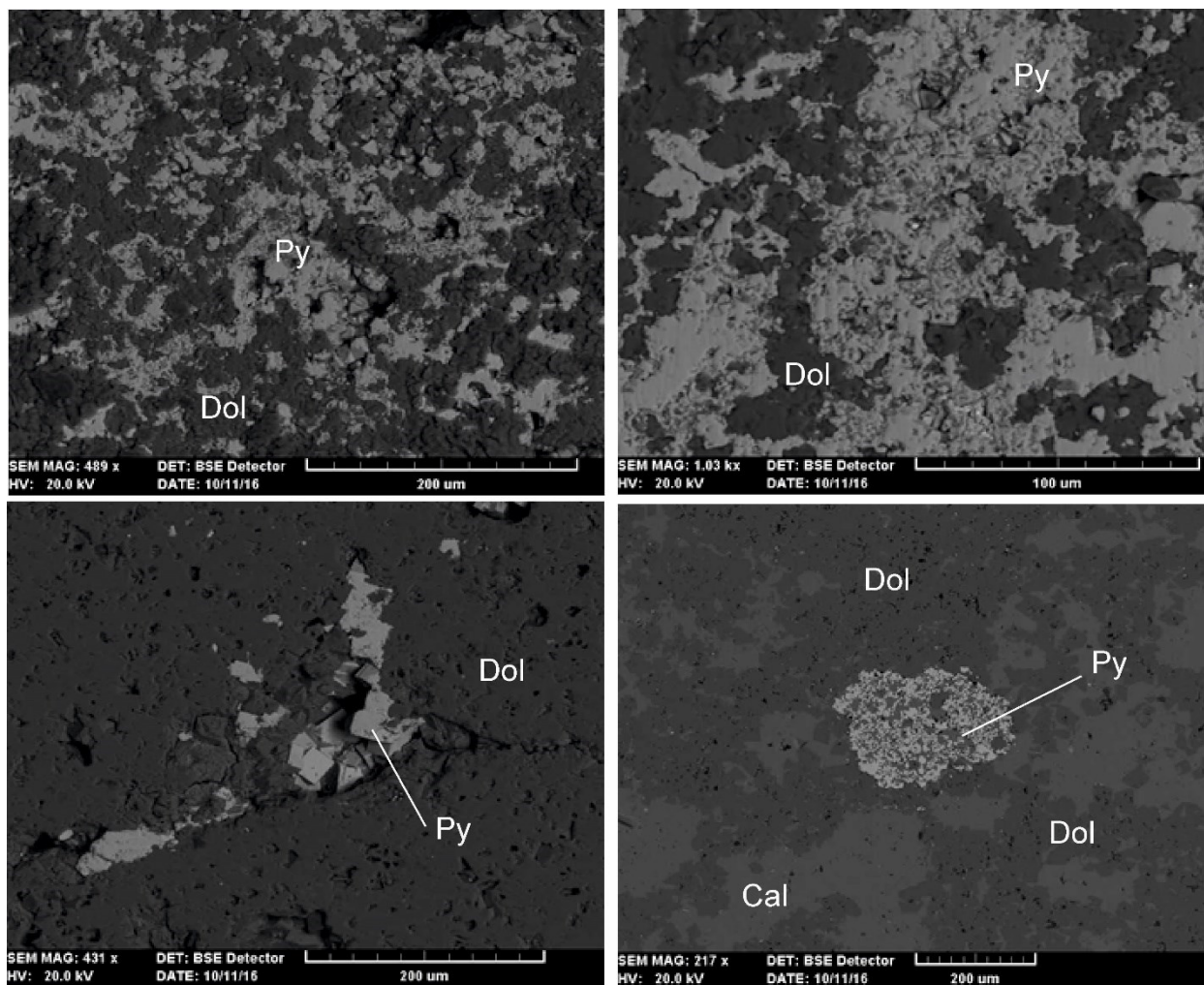


Рисунок 3.33. Пирит в уран-битумных рудах Репьевского месторождения
Сканирующая электронная микроскопия (BSE). Py - пирит; Dol – доломит, Cal – кальцит.

Минеральные формы рения не установлены, вероятнее всего, он присутствует в составе минералов молибдена, а также ванадия и селена. Исходя из повышенной рениеносности нефти Волго-Уральского региона, можно допустить присутствие Re в битумном веществе в рассеянном виде.

Установленные высокие содержания Re, Se, V, и Tl в рудах Репьевского уран-битумного месторождения позволяют рассматривать его в качестве комплексного объекта.

2. Адамовское уран-битумное месторождение. Складчатый Донбасс. В краевой зоне соляных куполов с эпигенетическим уран-битумным оруденением в терригенных отложениях в связи с зонами восстановления. В северо-западной части Донецко-Шахтинской ПРЗ В зоне сочленения Днепровско-Донецкой впадины и Складчатого Донбасса в краевых зонах соляных диапиров располагается группа уран-битумных месторождений – Адамовское, Краснооскольское, Берекское и ряд проявлений: Петровское, Ново-Дмитриевское, Бантышевское, Ново-Троицкое [Генетические типы ... , 1995; Shumlyanskiy, 1997; Металлические ... , 2005]. Типовым объектом является Адамовское месторождение.

Оно приурочено к песчано-глинистым отложениям дроновской свиты верхней перми и низам серебрянской свиты триаса, выполняющих палеоруслу, в краевой части Адамовского соляного диапира. Оруденение контролируется Южным и Северным сбросами, а также зоной эпигенетически восстановленных, интенсивно аргиллизированных и пиритизированных пород. На месторождении широко развиты эпигенетические изменения пород (каолинизация, декарбонатизация, пиритизация).

Характерным объектом данного типа является Адамовское уран-битумное месторождение. Оно расположено на пересечении Дроновско-Славянской антиклинальной зоны и поперечных нарушений субмеридиональной ориентировки (Рисунок 3.34).

Рудные тела (11 шт., мощностью 100–200 м) в песчаниках представлены пластами вкрапленных или массивных твердых битумов черного или темно-коричневого цвета. Черные битумы более обогащены ураном (целые проценты), чем коричневые (десятые доли процента). Первые по свойствам отвечают оксиантраксолитам, вторые – оксикеритам. Кроме того, встречается много вкрапленных неураноносных битумов классов асфальтитов и асфальтов. Ураноносные битумы по элементному составу близки к оксикеритам и характеризуются свойствами углеводородов нефтяного ряда [Ермаков и др., 1968, Пеньков, 1989, 1996].

Эпигенетические процессы, сопровождающие рудообразование, приводят к изменению красной окраски пород на зеленоватую и сиренево-серую. Появляются обеленные породы, тяготеющие к зонам повышенной трещиноватости пород, окаймляющим соляной шток. Сопутствующая рудному процессу минерализация (тонкодисперсные сульфиды Fe, Cr, Mo, Re) образует широкие ореолы вокруг битумов в обеленных породах.

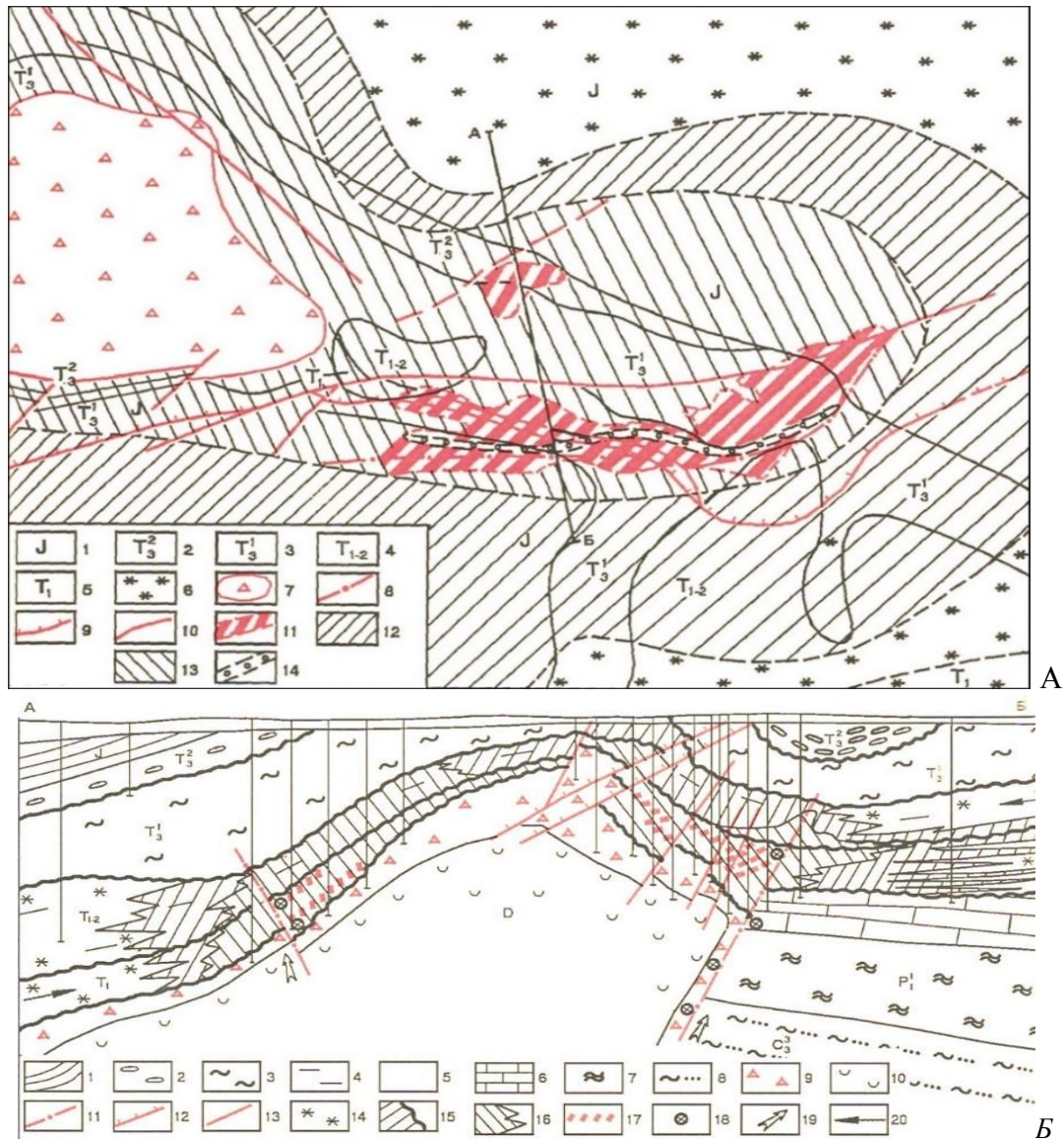


Рисунок 3.34. Схематическая карта (а) и геологический разрез (б) Адамовского уран-битумного месторождения [Генетические типы ... , 1995]

А (геологическая карта). 1 – отложения юры; 2–5 – отложения триаса, свиты: 2 – новорайская, 3 – протопивская, 4 – серебрянская, 5 – дроновская; 6 – неизменные породы; 7 – диапировая брекчия; 8 – рудоконтролирующие разломы (по подошве серебрянской свиты); 9 – Южный надвиг (по подошве протопивских отложений); 10 – пострудные разрывные нарушения (по поверхности докайнозойского рельефа); 11 – контур уран-битумных залежей – эпигенетически измененных пород дроновской свиты; 12 – зона чередования красноцветных и эпигенетически восстановленных (серых, серо-зеленых) пород; 13 – эпигенетически восстановленные (серые) породы; 14 – зона окварцевания; Б (геологический разрез). 1 – глины нижней юры; 2 – гравелиты, песчаники, глины новорайской свиты; 3 – песчаники, глины, конгломераты протопивской свиты; 4 – песчаники, алевролиты, глины серебрянской свиты; 5 – песчаники, алевролиты, глины дроновской свиты; 6 – карбонатно-эвапоритовая толща славянской и краматорской свит; 7 – песчаники и аргиллиты картамышской свиты; 8 – угленосные песчаники и аргиллиты верхнего карбона; 9 – диапировая брекчия; 10 – каменная соль; 11–13 – разрывные нарушения: 11 – рудоконтролирующие сбросы, 12 – надвиги, 13 – пострудные сбросы и взбросы; 14–18 – эпигенетическая зональность: 14 – неизменные красноцветные породы дроновской и серебрянской свит, 15 – оглеенные зеленоцветные породы дроновской и серебрянской свит, 16 – сероцветные породы зоны сульфидного восстановления, 17 – уран-битумные рудные тела, 18 – ртутно-полиметаллическая минерализация; 19, 20 – направление движения: 19 – восстановительного флюида, 20 – кислородсодержащих подземных вод.

Помимо урановых минералов в пределах месторождений развиты: киноварь, галенит, сфалерит, флюорит, кальцит, доломит, кварц, барит, молибденит, иордизит, ильземаннит, самородное золото (очень редко). Для уран-битумных руд Адамовского месторождения характерны элементы-спутники урана: Мо (среднее содержание в руде $46 \cdot 10^{-4} \%$, в рудовмещающих породах – $1,9 \cdot 10^{-4}$), Сг (среднее содержание его в породах дроновской свиты составляет $109 \cdot 10^{-4} \%$), тяготеющий к рудоконтролирующим нарушениям. Отмечены также повышенные содержания As, Zn, Pb (до $10 \cdot 10^{-4} \%$), Hg (до 0,01 %), Re, Se (в отдельных пробах до 0,01 %). Возраст руд Адамовского месторождения составляет от 220 ± 10 до 195 ± 5 млн лет [Генетические типы ... , 1995].

Предполагается формирование урано-битумного оруденения в результате взаимодействия кислородных грунтовых вод с углеводородсодержащими гидротермальными растворами [Shumlyanskiy, 1997]. Источником битумов при этом являлась нефть, поступавшая по разломам из нижележащих свит и накапливавшаяся в трещинах и порах пород под экраном. При «раскрытии» структур возникали очаги разгрузки напорных (в том числе термальных) артезианских вод. Из оставшихся после разрушения нефтегазовой залежи углеводородов образовывались углекислота и сероводород, воздействовавшие на вмещающие породы, которые подверглись процессам осветления, пиритизации и окремнения. в условиях восстановительной обстановки уран высаживался из подземных вод, чему способствовали окисляющиеся битумы.

Все перечисленные объекты рассматриваемой формации приурочены к участкам развития в осадочном чехле региональных тектонических нарушений, проявленных в виде разломов, надвигов, пологих складок и куполов, и соответственно участкам разгрузки глубоких гидрогеологических систем. Важным параметром является наличия в осадочном чехле залежей углеводородов и условий для их миграции.

Подводя итог, изложенному в данном разделе, можно констатировать, что в осадочном чехле ВЕП, выявлено 9 ренийсодержащих рудных формации. В таблице 3.35 приводятся сведения по типовым объектам установленных формаций, приведены объекты-аналоги, а также для объектов в осадочном чехле ВЕП дана геодинамическая обстановка рудообразования.

Вариации содержания рения в ренийсодержащих формаций осадочного чехла ВЕП по авторским и литературным данным обобщены на рисунке 3.35.

Анализ авторских и литературных данных позволил установить вариации содержания рения в ренийсодержащих формаций осадочного чехла ВЕП (Рисунок 3.35).

Таблица 3.35 – Ренийсодержащие рудные формации, типовые месторождения и проявления в осадочном чехле ВЕП и их аналоги в Мире

Ренийсодержащая рудная формация	Примеры месторождений (М) и проявлений (П), содержащих Re. В скобках указаны ведущие (профильные) элементы месторождений и проявлений	
	Мир	Осадочный чехол ВЕП / Геодинамическая обстановка рудообразования на территории ВЕП
1. Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах	Проявления (U, Mo, V) с Re в диктионемовых сланцах (Эстония) [Наумов, 2006; Hade, Soesoo, 2014]; в составе углеродистых сланцев (кембрий-ордовик) Южной Швеции совместно с U и V [Andersson et al., 1985]	Проявления с Re в диктионемовых сланцах (U, Mo, V) [Поплавко и др., 1978; Вялов и др., 2013; Енгальчев, 2019г; Благородные ..., 2022]; Углеродистые сланцы силура Балтийской синеклизы [Енгальчев, 2019г] / Бассейн пассивной окраины, внутренний шельф
2. Горючих сланцев	Сузакских сланцы ранний эоцен (Киргизия) [Баситова, Засорина, Азизкулова, 1972]	Месторождения и проявления юрских (волжские, яренгские) сланцев в восточных районах ВЕП (С, Se) [Игнатъев, Иванова, 2013; Енгальчев, 2019г]; Горючие сланцы Волжского бассейна [Самойлов и др., 2015; 2017]; разрез «Городищи» [Енгальчев, 2019в] / Бассейн надрифтовых впадин
3. Каменно-угольная	Ангренское М, Казахстан [Кузнецова, Сауков, 1961; Клер и др., 1987]	Месторождения угля Восточного Донбасса с Re (Hg) [Жаров и др., 1996; Угольная база России, 2000] / Авлакогенная
4. Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом	Меловое М (U, REE, P) (Казахстан) [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков, Сидоренко, Алулпанов, 2010]	Месторождения Ергенинского района Калмыкия (U, REE, P) [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков, Сидоренко, Алулпанов, 2010; Тюленева и др., 2014; Енгальчев, 2019г] / Бассейны надрифторных впадин осложненные поднятиями
5. Медистых песчаников и сланцев	Мансфельд М (Cu) (мульда Зангерзхаузен, Германия) [Knitzschke, 1961]; Любин-Серошовице М (Cu, ЭПГ, V) (Польша) [Гурская, 2000]; Джезказган М (Cu, Pb, Zn, Mo, Ag) (Казахстан) [Калинин, Файн, 1977]	Проявления Вятско-Камской меденосной полосы Сарманово, Гребени, Мамадыш (Cu, Ag) [Поплавко и др., 1977; Енгальчев, 2019г]; Меденосные углистые алевролиты саснавской свиты (пермь), Калининград [Енгальчев, 2019г] / Бассейн надрифторных впадин; осадочные бассейны форланда
6. Урановая терригенная палеодолин	Месторождения Нингё-Тогэ, Тоно, Япония [Katayama N., Kubo K. et al., 1974; Franz, 2009]; м-е Маньинги, Западная Австралия; Семизбай, Казахстан [Пятов, 2005]	Балковское П (U) Гашунская впадина [Енгальчев, 2019г] / Платформенная денудационных равнин
7. Урановая в угленосных отложениях	М-е Кольджат (U, Mo, Re) (Казахстан) [Пятов, 2005; Урановые месторождения Казахстана, 2008]	Подмосковный бассейн в центральной части ВЕП: Бельское М (U, Mo, Re) [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011]; Брикетно-Желтухинское М (U, Mo, Re) [Карась и др., 2016, 2017; Енгальчев, 2019г; Викентьев, Кайлачаков, 2020] / Платформенная денудационных равнин

Продолжение таблицы 3.35

Ренийсодержащая рудная формация	Примеры месторождений (М) и проявлений (П), содержащих Re. В скобках указаны ведущие (профильные) элементы месторождений и проявлений	
	Мир	Осадочный чехол ВЕП / Геодинамическая обстановка рудообразования на территории ВЕП
8. Молибденовая в пестроцветных отложениях	Проявление Лиепа (Mo, U), Латвия [Куршс, 1992]	Печорское П (Mo, U) в Псковской области [Енгальчев, 2011е; 2012в]; Холмская площадь в Новгородской области (лист О-36-XXVI) [Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018]/ Платформенная денудационных равнин
9. Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная	Месторождения минерального пояса Грантс, м-е Амброзия-Лэйк (США) [Промышленные типы..., 1984]; Район Маларгуэ, м-е Уэмуэл, Аргентина; Банатская группа месторождений, Румыния	Репьевское М (U, V) [Енгальчев, 2019г]; Адамовское М (U, V) [Металлические..., 2005]/ Платформенная денудационных равнин

Примечание: в скобках указаны профильные химические элементы

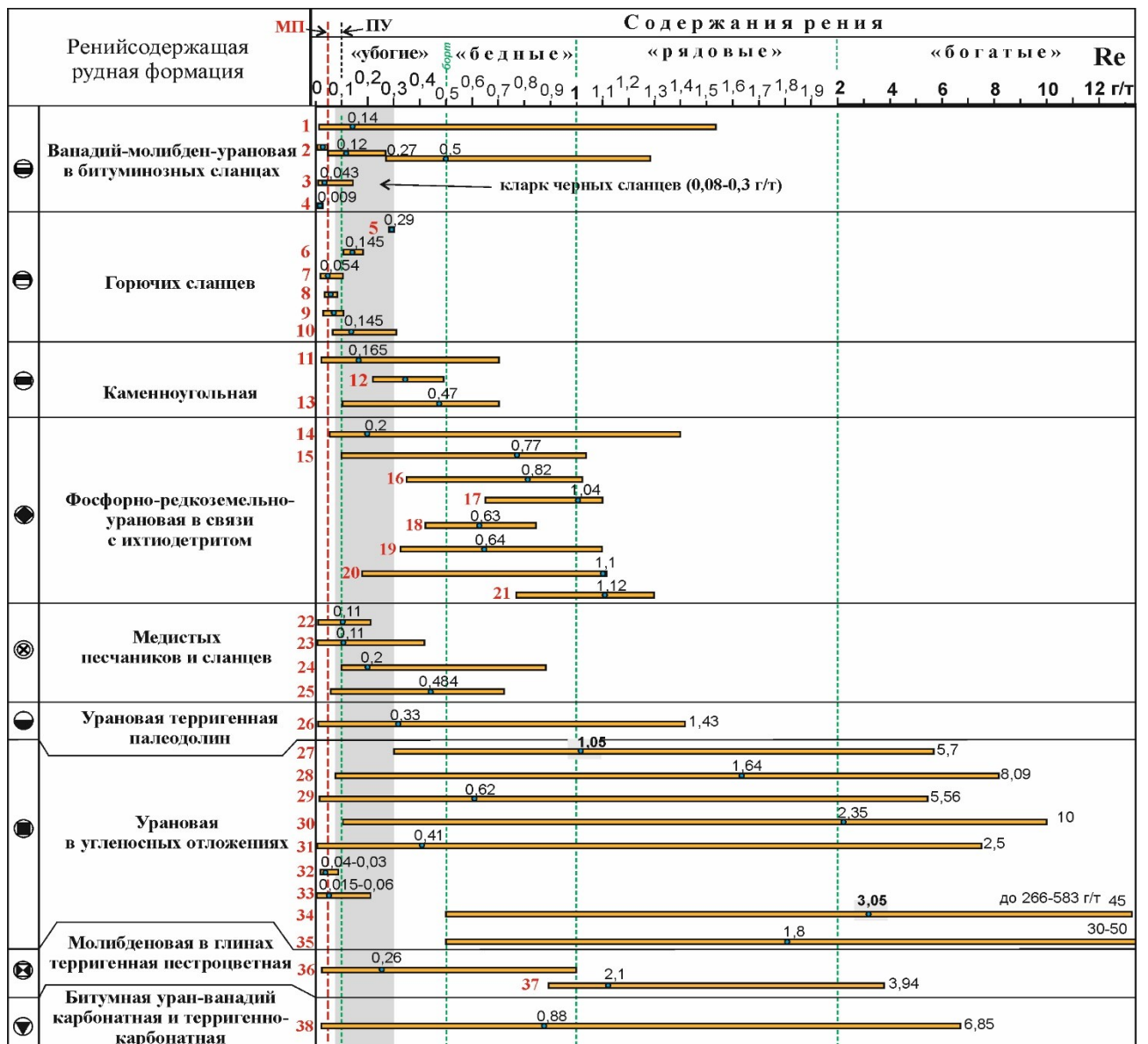


Рисунок. 3.35. Содержания рения в ренийсодержащих рудных формациях осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (г/т)

Номерами обозначены: 1 – диктионемовые сланцы из коренных выходов в полосе Балтийско-Ладожского глинта; 2 – диктионемовые сланцы Кайболово-Гостилицкой площади (с различным уровнем накопления рения: бедные, рядовые, рудные); 3 – углеродистые сланцы, гривинская свита, силур, Калининградская область; 4 – горючие сланцы-кукерситы Прибалтийского бассейна, 5–10 – юрские углеродистые сланцы: 5 – Центральный бассейн, Мантуровское м-е; 6 – горючие сланцы, разрез «Городищи», верхняя юра; 7 – сланцы углеродистые, Кашипирское м-е; 8 – горючие сланцы, Коцебинское м-е; 9 – горючие сланцы, Сысольский район; 10 – горючие сланцы, Чим-Лоптюгское месторождение, Яренский бассейн; 11 – месторождения угля Восточного Донбасса; 12 – угли вблизи зон тектонических нарушений; 13 – угли западного Донбасса (Лисичанский район); 14 – органогенно-фосфатные уран-редкометалльные руды Калмыкии; 15 – Шаргодькское м-е (западная часть); 16 – Шаргодькское м-е (восточная часть); 17 – Троицкое м-е; 18 – Вишнево-ское проявление; 19 – Бабагуровское м-е; 20 – Северо-восточная часть Бабагуровского рудного поля; 21 – Южно-Буратинское м-е; 22-24 – медистые песчаники Вятско-Оренбургской меденосной полосы, Приуралье, 22 – Вятская площадь, 23 – проявления Чатыр-Тау, Сарманово, 24 – проявление Гребени; 25 – медистые углистые аргиллиты и алевролиты, саснавская свита (пермь), Калининградская область; 26 – глины и пески с фосфатной галькой, загистинская свита, Балковское месторождение урана (Калмыкия); 27–28 – Re-Mo-U Бельское месторождение, 27-29 – бобриковский горизонт 27 – рудный интервал мощностью 2-19 м, 28 – угли, 29 – глины углистые, 30-33 – тульский горизонт, 30 – угли, 31 – глины углистые, 32 – глины алевролиты, песчаники, 33 – глины алевролиты песчаники бобриковского горизонта; 34 – рудные интервалы Re-Mo-U Брикотно-Желтухинского месторождения; 35 – Северо-Алексеевское Re-Mo-U проявление; 36 – рудные Re-Mo-U обособления на Находском ПМ (Новгородская область); 37 – рудные Re-Mo-U обособления на Печорском проявлении (Псковская область); 38 – доломиты битуминозные, Репьевское месторождение урана.

МП – минимальное промышленное содержание рения (0,05 г/т), ПУ – величина содержания рения (0,1 г/т) подлежащих учету кадастром.

Таким образом, впервые в разновозрастных образованиях осадочного чехла ВЕП выделены девять ренийсодержащих рудных формаций и дана их подробная характеристика. Наибольшее промышленное значение имеют четыре формации: урановая в угленосных отложениях, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, каменноугольная.

ГЛАВА 4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ РЕНИЙСОДЕРЖАЩИХ ФОРМАЦИЙ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

4.1. Ренийсодержащие формации основных историко-геологических этапов формирования осадочного чехла

При анализе данных о распространенности ренийсодержащих формаций в осадочном чехле использовались разномасштабные геологические и структурные карты, характеризующие строение осадочного чехла и фундамента, палеогеографические, гидрогеологические и палеогидрогеологические данные, материалы по эпигенетическим изменениям, а также многочисленные данные по минерации осадочного чехла, фундамента и нефтегазоносности территории.

Важным методическим принципом, используемым в настоящей работе, является представление о проницаемости осадочного чехла, его неразрывной историко-геологической и структурной связи с кристаллическим фундаментом и значимой роли тектонических нарушений, являющихся каналами для вертикальной миграции флюидов.

На основании комплексного анализа имеющегося материала впервые были выявлены *региональные и локальные* закономерности распределения ренийсодержащих формаций в осадочных комплексах чехла ВЕП.

Большая группы ренийсодержащих формаций приурочена к определенному типу пород и (или) выдержанному пласту (пачке), или толще имеющему специфический вещественный состав (углеродистые битуминозные сланцы, горючие сланцы, прослойки костного детрита, наличие рассеянного органического вещества, углистого детрита, битуминозность, меденосность, распространение рассеянного сульфидного материала и др.) или свойствами (пористость, плотность, обводненность и др.). В этой связи можно констатировать, что в размещении большой группы ренийсодержащих формаций проявлен и имеет существенное значение литолого-стратиграфический контроль. При этом, кроме него также проявлен ряд других факторов: структурно-тектонический, палеогеографический, гидрогеологический и др. которые совместно с литолого-стратиграфическим фактором определяют размещение ренийсодержащих формаций.

В формировании платформенных структур региона выделяются историко-геологические этапы: рифтогенный (рифей, нижний венд), раннебайкальский, позднебайкальский, каледонский, раннегерцинский, позднегерцинский, киммерийский и альпийский.

На рисунке 4.1 схематично показано распределение ренийсодержащих формаций в разрезе осадочного чехла региона по основным историко-геологическим этапам развития

территории. На нем приводятся сводные разрезы для всех крупных областей, каждая из которых имеет собственную историю развития.

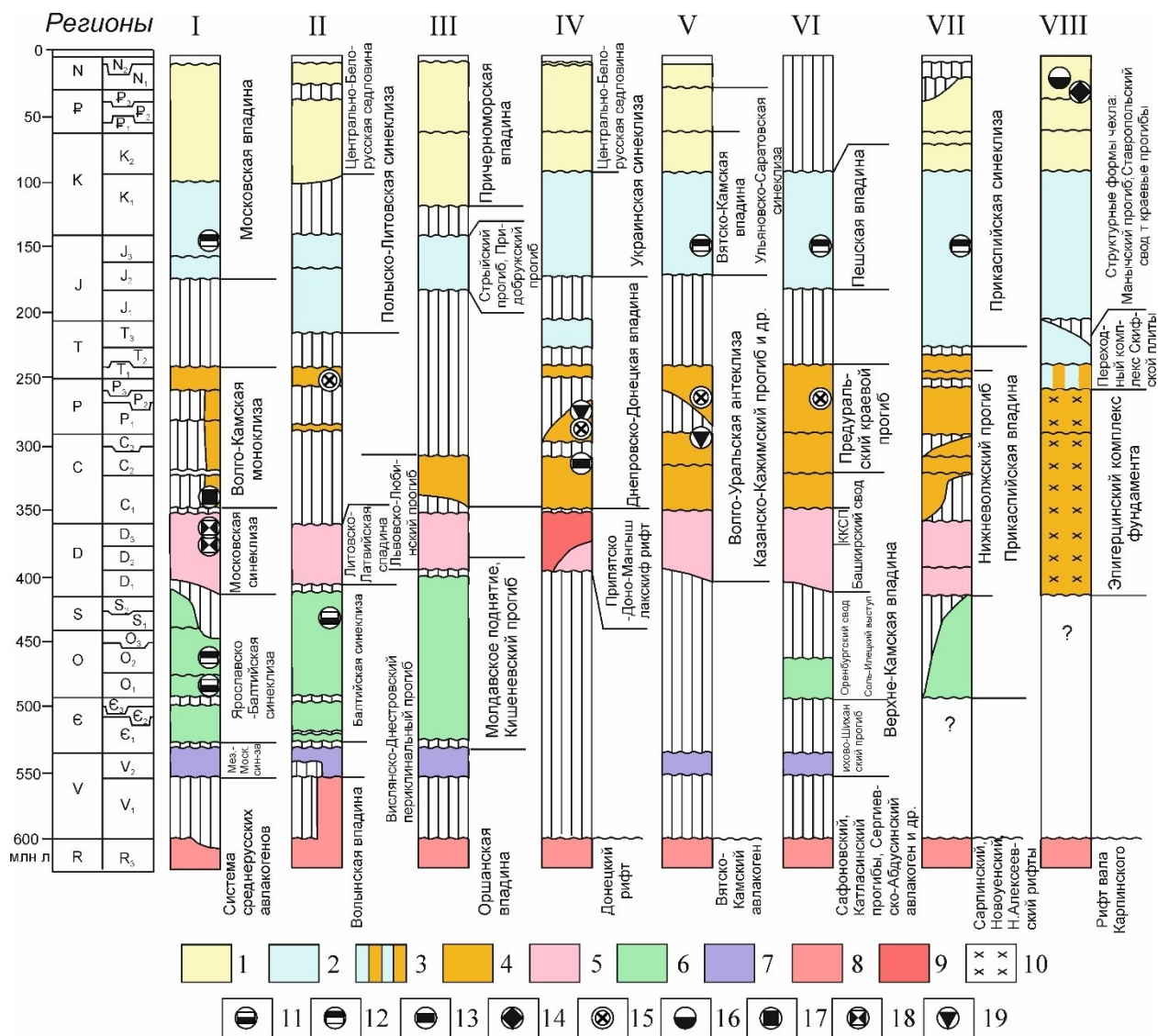


Рисунок 4.1. Схема размещения ренийсодержащих формаций в осадочном чехле региона. Создана с использованием [Геология ..., 2006]

1–10 – этапы формирования платформенных структур: 1 – альпийский, 2 – киммерийский, 3 – «промежуточный комплекс» Скифско-Туранской плиты, 4 – позднегерцинский, 5 – раннегерцинский, 6 – каледонский, 7 – позднебайкальский, 8 – раннебайкальский, 9 – этап рифтогенеза, 10 – складчатые комплексы фундамента; 11–19 – ренийсодержащие формации 11- Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; 12 - Горючих сланцев; 13 - Каменноугольная; 14 - Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом; 15 - Медистых песчаников и сланцев; 16 - Урановая терригенная палеодолин; 17 - Урановая в угленосных отложениях; 18 - Молибденовая в пестроцветных отложениях; 19 - Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная). Регионы: I – центральная и западная часть, II - западная часть, III – юго-западная часть, IV – южная часть, V – восточная часть, VI – Приуралье, Притиманье, VII – юго-восточная часть; VIII – вал Карпинского и прилегающие районы.

В вертикальном разрезе осадочного чехла ренийсодержащие формации в ряде случаев образуют сообщества.

В нижнепалеозойских отложениях (ордовик – силур) (каледонский этап) на северо-западе Русской плиты располагаются диктионемовые сланцы нижнего ордовика (формация ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах) и горючие сланцы-кукерситы (формация горючих сланцев), а на западе Русской плиты на территории Балтийской синеклизы распространены углеродистые сланцы силура (формация ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах). Обе формации приурочены к протяженным толщам углеродистых сланцев, обогащенных органическим веществом.

В девонском комплексе отложениях (раннегерцинский этап) ренийсодержащие формации установлены северо-западной части Русской плиты и представлены рядом проявлений (Печорское, Лиена) и пунктов минерализации (Находский, и др.) формации молибденовая в пестроцветных отложениях [Енгальчев, 2011е; 2012в, Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018].

В верхнепалеозойских отложениях (карбон – пермь) (позднегерцинский этап) ренийсодержащие формации расположены на западе региона в Балтийской синеклизы, в Московской синеклизе, Волго-Уральской антеклизе, а также в Донбассе.

В пределах Балтийской синеклизы ренийсодержащие формации медистых песчаников и сланцев, представленная меденосными углистые алевролиты саснавской свиты (пермь) [Енгальчев, 2019г]. В центральной части ВЕП в Московской синеклизе Бельское и Брикетно-Желтухинское (U-Mo-Re) месторождения и ряд проявлений формации урановая в угленосных отложениях, которые локализованы в угленосных отложениях Подмосковского бассейна [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Карась и др., 2016, 2017; Енгальчев, 2019г; Викентьев, Кайлачаков, 2020]. На востоке региона на территории Волго-Уральской антеклизе располагаются проявления и пункты минерализации формация медистых песчаников и сланцев, а также объекты формация Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная [Поплавко и др., 1977; Енгальчев, 2019г]. В Приуралье с данным комплексом отложений связаны урановые месторождения (Виноградовское, Черепановское) и проявления палеодолинного типа которые пока не изучены на рений, но потенциально могут являться ренийсодержащими. С рассматриваемым возрастным комплексом отложений на Донбассе связана, Каменноугольная формация в углях среднего-верхнего карбона и Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная формация (месторождение Адамовское и ряд проявлений).

С верхнеюрским комплексом отложений (киммерийский этап) связаны месторождения и проявления горючих сланцев в отложениях волжского подъяруса. К породам данного возраста приурочены ренийсодержащие горючие сланцы (формация горючих сланцев) размещенные на

территории горючесланцевых бассейнов (Волжский, Вычегодский, Центральный, Тимано-Печорский). Ренийские объекты тоже формации могут быть выявлены в породах данного возрастного уровня, на территории соседней Тимано-Печорской плиты (Тимано-Печорский бассейн, Нарьянмарский и Ижемский район).

В кайнозойском комплексе отложениях (альпийский этап) объекты пока установлены только в пределах вала Карпинского и представлены месторождениями и проявлениями ренийсодержащей формации Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом в породах майкопской серии, а также формацией урановая терригенная палеодолин месторождением Балковское и рядом проявлений в Гашунской впадине в низовьях палео-Дона.

Наиболее разнообразный комплекс (сообщество, ассоциация) ренийсодержащих формаций установлен в верхнепалеозойских отложениях ВЕП (позднегерцинский этап). Причина такого разнообразия, можно полагать связана с позднедевонско-раннекаменноугольной активизацией погребенного древнего фундамента, проявлением в породах данного возраста эпигенетических (инфильтрационных и эксфильтрационных) процессов, разрушением (и преобразованием) находящихся в породах углеводородных залежей и другими причинами. По данным палеогидрогеологического анализа в триасе и ранней-средней юре породы рассматриваемого породного комплекса были частично выведены на поверхность, породы подвергались размыву и стали ареной развития эпигенетических процессов, в том числе окислительно-восстановительного типа. [Региональный ... , 2001].

Таким образом, в разрезе осадочного чехла ВЕП наблюдается закономерная картина распределения ренийсодержащих формаций по историко-геологическим этапам.

4.2. Региональные закономерности размещения ренийсодержащих рудных формаций и их ассоциаций в осадочном чехле

Совместный анализ материалов по вещественному составу и строению осадочного чехла ВЕП и фундамента с одной стороны и данных по размещению ренийсодержащих формаций с другой стороны, позволил выявить ряд (самых общих, основных) региональных закономерностей их размещения. Одной из них является приуроченность определенных типов ренийсодержащих формаций к краевой (периферийной) части (области) чехла ВЕП, а другой к его центральной части (Рисунок 4.2).

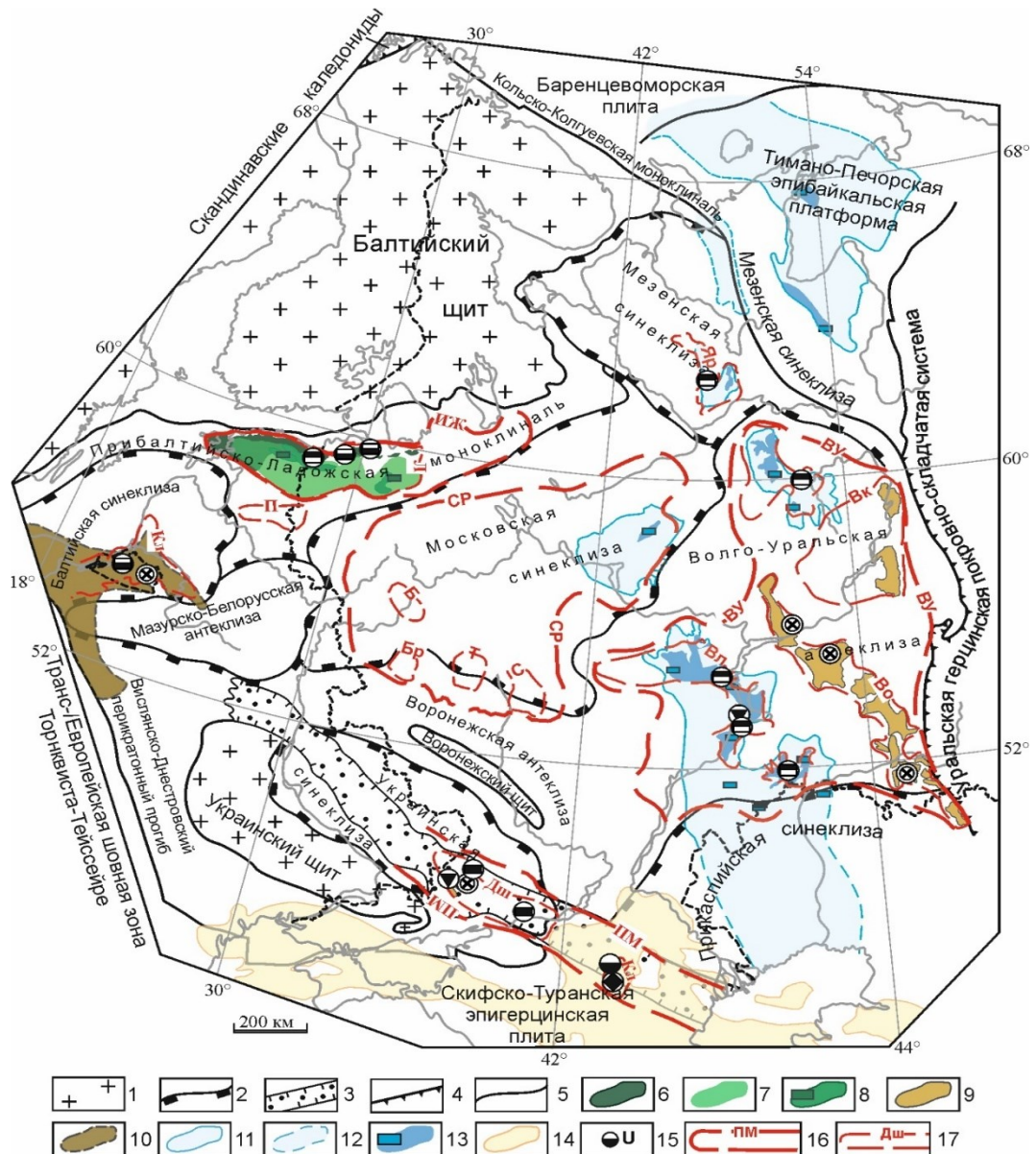


Рисунок 4.2. Схема размещения ренийсодержащих формаций и месторождений, приуроченных к периферийным зонам осадочного чехла ВЕП

1 – щиты; 2 – границы синеклиз и антеклиз; 3 – рифты палеозойские (Припятско-Дона-Мангышлакская складчатая система); 4 – границы впадин, прогибов и сводов, 5 – граница с Уральской складчато-надвиговой системой; 6-14 – области распространения пород, с которыми связаны ренийсодержащие формации (установленные или предполагаемые), а также месторождения углеродистых сланцев, 6 – диктионемовые сланцы нижнего ордовика; 7 – сланцы-кукерситы среднего ордовика; 8 – месторождения кукерситов и их контуры; 9 – медистые песчаники перми (Вятско-Камская, Южно-Уральская (P_2kz) и Приуральская (P_{2u}) меденосные зона), 10 – область распространения потенциально меденосной формации перми (P_{1u-kz1}) Балтийской синеклизы; 11-14 – верхнеюрский сланцевый бассейн (с юга на север: Волжский, Центральный, Сыольский, Яренский, Пешский, Тимано-Печорский), 11 – границы установленные, 12 – предполагаемые, 13 – месторождения горючих сланцев и их контуры; 14 – майкопский палеобассейн; 15 – урановые месторождения палеодолинного типа (Виноградовское и Черепановское) не изученные на рений; 16 – 17 – элементы прогнозно-металлогенического районирования на Re, 23 – области: ИЖ – Ижорская, СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Маньчская; 24 – районы: Л – Лужский; Б – Бельский, Т – Тульский, Ск – Скопинский, Бр – Брятинский; Вк – Верхнекамский, Во – Вятско-Оренбургский, Вл – Волжский, И – Иргизский, С – Сыольский; Дш – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский; П – Печорский ПРР, Кл – Калининградский, Яр – Яренский; Символ ренийсодержащей формации на рисунке 4.1.

Ренийсодержащие формации Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах и Горючих сланцев, связаны с областями распространения углеродистых сланцев (битуминозных и горючих), развитыми на северо-западе (Прибалтийский бассейн) и востоке Русской плиты (Волжский, Центральный, Сысольский, Яренгский, Пешский бассейны и, примыкающих к нему с востока, Тимано-Печорский бассейн). Ренийсодержащая формации Медистых песчаников и сланцев, приуроченная к площадям распространение меденосных площадей и меденосных геологических формаций пермского возраста, установлена в восточной части ВЕП в Приуральской и Вятско-Камской, и Южно-Уральской меденосные зоны (полосы), а также на западе ВЕП в Балтийской синеклизе, где располагается краевая (восточная) часть пермского цехштейнового бассейна.

К краевой по отношению в центральной части ВЕП, протяженной Припятско-Донско-Мангышлакской складчатой зоне палеозойского возраста, пространственно приурочены ренийсодержащие угли Донецкого угольного бассейна (ренийсодержащая Каменноугольная формация), Балковское месторождение урана (ренийсодержащая формация Урановая терригенная палеодолин) и комплексные органогенно-фосфатные урано-редкоземельные месторождения (ренийсодержащая формация Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом) в отложениях майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен).

К периферийным частям ВЕП приурочены объекты ренийсодержащей формации Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная: Репьевское уран-битумное месторождение в Среднем Поволжье; Адамовское уран-битумное месторождение в пределах складчатой зоны Донбасса.

Рассматривая размещение ренийсодержащей формации медистых песчаников и сланцев на региональном уровне для осадочного чехла ВЕП, можно отметить, что они приурочены к краевым (периферийным) зонам ВЕП. Одной из особенностей размещения последних является их пространственная связь, как с галогенными бассейнами, так и с нефтегазоносными областями. Проблема пространственной, и вероятно, генетической связи, в размещении нефтегазоносных и соленосных бассейнов неоднократно рассматривались в литературе [Беленицкая, 2014; Рифовые ..., 2015; и др.].

Проявлена такая связи и для ренийсодержащих формаций медистых песчаников и сланцев, так меденосные песчаники Приуральской полосы расположены рядом или непосредственно в зоне Приуральского солеродного бассейна, Южно-Уральская меденосная зона (полоса) расположена на периферии Прикаспийского солеродного бассейна; меденосные проявления Бахмутской котловины на западе Складчатого Донбасса ассоциированы с толщами солей Днепровско-Донецкого солеродного бассейна, а на территории Балтийской синеклизы, где

меденосные отложения установлены в составе саснавской свиты перми – располагается Средне-Европейский солеродный бассейн.

Природа такой связи пока однозначно не определена, но можно предполагать, что залежи солей, содержащиеся в осадочном чехле и ассоциированные с ним агрессивные рассолы и растворы, могли проводить в мобилизации и выносу рения из вмещающих пород. Роль нефтегазоносных территории имеет два аспекта, во-первых нефтегазоносные толщи могут являться источником «первичного» рения, накопленного в них на стадии формирования нефтематеринской толщи, и соответственно находящегося в составе углеводородов, а во-вторых углеводороды могут выполнять «барьерную» функцию, в случае концентрации рения, мигрирующего в составе флюидов в поверхностной зоне непосредственного на органическом (углеводородном, битумном) веществе, а также в формировании участков обогащенных органическим веществом, которые могут выступать восстановительным барьером для осаждения рения.

К центральной части осадочного чехла ВЕП приурочены объекты ренийсодержащей формации *Урановая в угленосных отложениях*, которые локализованы в угленосных отложениях южных части Подмосковного угольного бассейна нижнего карбона. К ним относятся Бельское и Брикетно-Желтухинское комплексных Re-Mo-U месторождения и ряд проявлений [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Карась и др., 2016, 2017; Енгальчев, 2019г; Викентьев, Кайлачаков, 2020; Кайлачаков и др., 2020; и др.].

Другая ренийсодержащая формация центральный районов ВЕП *молибденовая в пестроцветных отложениях* представлена Печорским Re-Mo-U проявлении в Псковской области и пунктами минерализации [Куршс, Саммет, 1981; Грушевой, Оношко, Наумов, 1996; Енгальчев, 2011е; 2012в, 2013; Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018].

Таким образом, для центральных районах ВЕП характерны своеобразные комплексные (Re-Mo-U) месторождения, проявления и пункты минерализации, относящиеся к ренийсодержащим формациям – урановая в угленосных отложениях и молибденовая в пестроцветных, которые имеют многоэтапную историю формирования и приурочены к краевым зонам погребенных рифейских авлакогенов, а также зонам тектонических нарушений в осадочном чехле, которые часто подчеркнуты неоднородностями в строении осадочной толщи (палеодолины, резкие переходы фаций разновозрастных отложений и др.).

Анализ площадного распределения ренийсодержащих объектов в осадочном чехле ВЕП показал наличие пространственной связи с погребенными рифейскими палеорифтогенными структурами (авлакогенами) и палеозойской рифтовой системой (Припятско-Доно-Мангышлакская складчатой системой). В центральных районах ВЕП такое влияние проявлено особенно отчетливо (Рисунок 4.3).

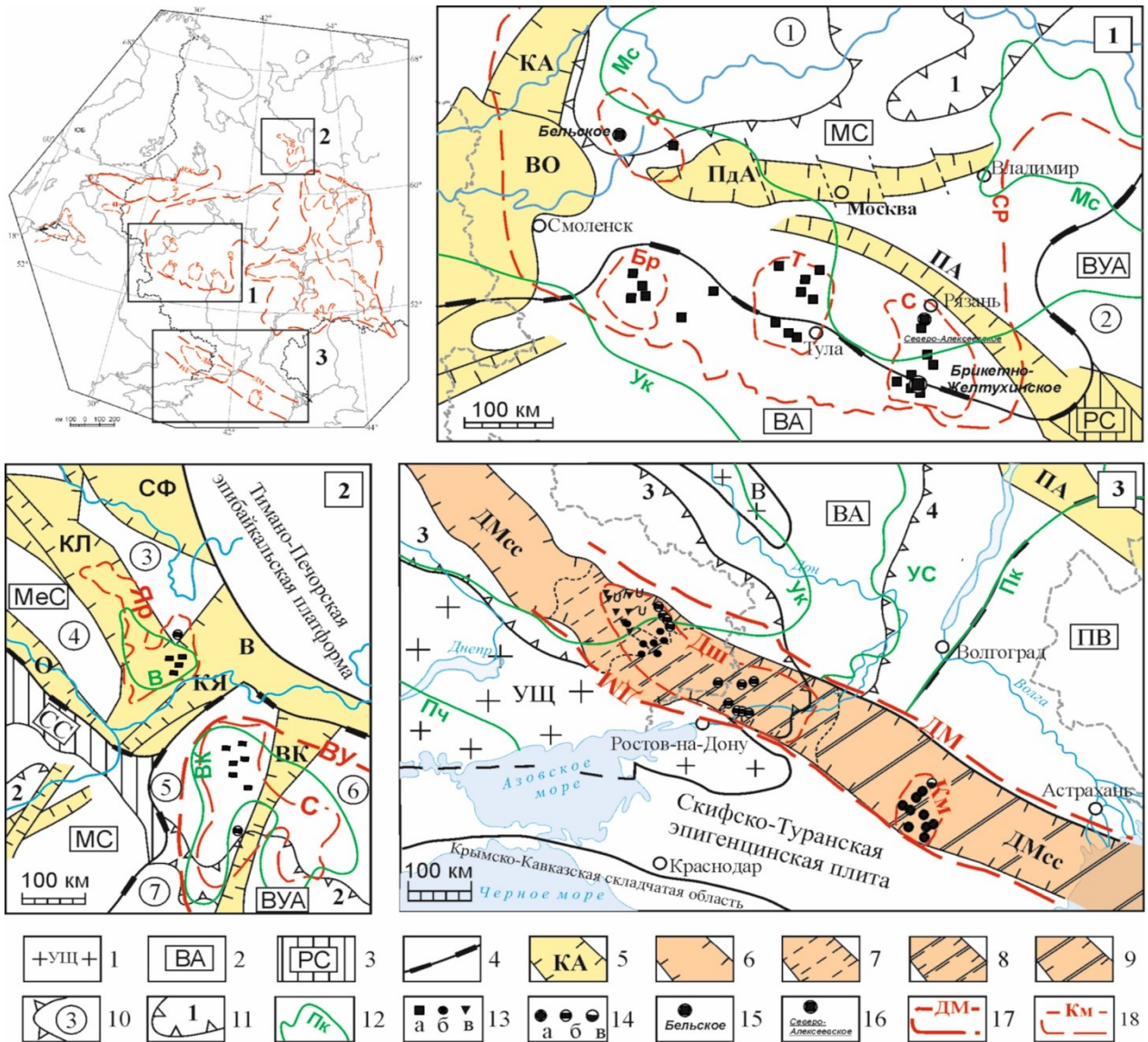


Рисунок 4.3. Схема размещения ряда потенциально рениеносных районов и областей на территории ВЕП относительно рифейских авлакогенов (1, 2) и среднепалеозойской рифтовой системы (3).

1 – выступы кристаллического основания (УЩ – Украинский щит, В – Воронежский кристаллический массив); 2-4 – региональные структуры Восточно-Европейской платформы и их границы, 2 – антеклизы (ВУА – Волго-Уральская, ВА – Воронежская) и синеклизы (МС – Московская, МеС – Мезенская, ПВ – Прикаспийская впадина); 3 – седловины (РС – Рязано-Сердобская, СС – Сухонская); 4 – границы региональных структур; 5 – рифейские авлакогены, впадины, перикратонный прогибы (авлакогены: ПДА – Подмосковский, ПА – Пачелмский, КА – Крестецкий; КЛ – Керецко-Лешуконский, КЯ – Котлас-Яренский, ВК – Вятско-Кажимский, О – Онежский; впадины: ВО – Волынско-Орианская; перикратонные прогибы: СФ – Сафоновский, В – Вычегодский); 6-9 – среднепалеозойская Доно-Мангышлакская складчатая система (ДМсс) и ее элементы: 6 – Днепровский грабен; 7 – зона перехода складчатых структур в платформенные; 8 – Донбасс; 9 – вал Карпинского; 10 – поднятия, своды, выступы (1 – Нелидово-Торжокский свод, 2 – Токмовский свод, 3 – Вашкинский выступ, 4 – Архангельский выступ, 5 – Сыктывкарский свод, 6 – Коми-Пермяцкий свод, 7 – Котельничский свод); 11 – впадины, прогибы (1 – Ярославско-Галичский прогиб, 2 – Верхнекамская впадина, 3 – Днепровско-Донецкая впадина, 4 – Нижневолжский прогиб); 12 – границы мезозойско-кайнозойских наложенных и частично унаследованных структур (синеклиз, прогибов, впадин): (синеклизы: Ук – Украинская, Пк – Прикаспийская; СУ – Саратовско-Ульяновский прогиб; впадины: ВК – Вятско-Камская, В – Вашкская, Мс – Московская); 13 – потенциально рениеносные проявления (а – Мо-У в угленосных отложениях Подмосковского бассейна, б – медистые песчаники и сланцы, в – уран-битумные); 14 – проявления с

рением (а – ренийсодержащая формация Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом; б – ренийсодержащая формация каменноугольная; в – ренийсодержащая формация урановая терригенная палеодолин); 15 – Бельское и Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U месторождения (ренийсодержащая формация урановая в угленосных отложениях); 16 – Северо-Алексеевское Re-Mo-U проявление в угленосных отложениях; 17 – ПРМО: СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Маньчская); 18 – ПРР: Б – Бельский, Т – Тульский, Ск – Скопинский, Бр – Барятинский; С – Сысольский; Дш – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский.

Данная связь проявляется для различных объектов в различно, что определяется особенностями геологического строения, историей геологического развития и условиями формирования ренийсодержащих формаций.

Вероятнее всего, приуроченность ренийсодержащих формаций к крупным тектоническим нарушениям и погребенным рифтам определяется их специфическим тектоническим, а главное «флюидным» режимом. Над погребенными рифтовыми зонами (или в зоне их влияния) на различных этапах развития (палеозой, мезозой) территории формируются впадины. Здесь в осадочном чехле образуются участки трещиноватости и повышенной проницаемости для флюидов, что наряду, с другими факторами может создавать участки высокой биопродуктивности в седиментационных бассейнах за счет поступления микроэлементов, газов и тепла. На таких участках рений, поступающий совместно с другими редкими элементами в составе металлоносных растворов, может фиксироваться в осадках, обогащенных S_{org} , образуя первичные сингенетические накопления. Источниками металлов в составе флюидов могли быть седиментационные воды, мобилизованные из пород в процессе катагенеза, так растворы, связанные (участвующие) в глубокой циркуляции.

Остановимся на характеристике ряда ренийсодержащих объектов, для которых установленная закономерность проявлена наиболее контрастно.

Южная часть Подмосковного бассейна. Ренийсодержащая формация Урановая в угленосных отложениях приурочена угленосным отложениям нижнего карбона (бобриковский и тульского горизонтов визейского яруса) Подмосковный бурогольный бассейн и представлена Бельским и Брикетно-Желтухинским месторождением и рядом проявлений. Накоплению угленосных отложений здесь предшествовал длительный перерыв, в связи с чем, отложения залегают на интенсивно эродированной поверхности «известнякового фундамента» (черепетский или упинский горизонты нижнего карбона (турне)), осложненной системой эрозионных (тектонически обусловленных) врезов глубиной в десятки метров, при протяженности – десятки километров. Каркас таких эрозионных врезов унаследовала крупная визейская аллювиальная система, включающая палео-Оку, Скопинскую, Сафоново-Барятинскую и Рязанскую палеореки.

Контуры Бельского, Барятинского, Тульского и Скопинского потенциально ренийносных районов приурочены к бортовой зоне рифейских авлакогенов: Бельский ПРР - с прибортовой зоной Подмосковного, а Скопинский и Тульский ПРР – Пачелмского (Рязано-Саратовского) авлакогена.

Структурно-формационный анализ, выполненный специалистами ИМГРЭ (С. М. Бескин, А. А. Кременецкий и др.), свидетельствует о том, что практически все выявленные Re-Mo-U объекты рассматриваемой области, четко проецируются на межблоковые шовные зоны в фундаменте [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011], а в структуре осадочного чехла локализованы в унаследованной от фундамента фанерозойской структуры – Калужской ступенчатой моноклизе.

Для рассматриваемых объектов отчетливо проявлен контроль со стороны тектонических зон, так здесь располагается зона сочленения блоков кристаллического фундамента Сарматии, Фенноскандии и Волго-Уралии, которая осложнена рифейскими Подмосковный, Пачелмский, Крестцовский авлакогенами (Рисунок 4.4, 4.5), а в осадочном чехле к ней приурочены разрывные нарушения и валообразные поднятия, а также Калужско-Бельская зона тектонических нарушений, в пределах которой выделяется ряд вулcano-тектонических структур кольцевой морфологии [Петров, 1971].

Обращает на себя внимание размещение залежей соли и целестина (средний девон) вблизи рифтогенных структур (авлакогенов).

Для Re-Mo-U Бельского месторождения, локализованного в отложениях нижнего карбона, по результатам специализированных изотопно-геохимические исследований проявлен альпийский (K_1-P) этапе, рудообразования, связанный с активизацией погребенного древнего фундамента [Кременецкий, Лунева, Куликова, 2011; Кременецкий, Громалова, Кайгородова, 2012]. Эти данные согласуются с ранее полученными сведениями о возрасте уранового оруденения в 175–240 и 70–75 млн лет. [Иванова, Грушевой, 2009; Островская, 1968].

Все это позволяет с большей уверенностью рассматривать идею «молодой» позднемезозойско-кайнозойской активизации региона в формировании уранового и ренийсодержащего оруденения. При этом первичные концентрации урана, рения и молибдена, вероятнее всего, имеют син-диагенетическую природу.

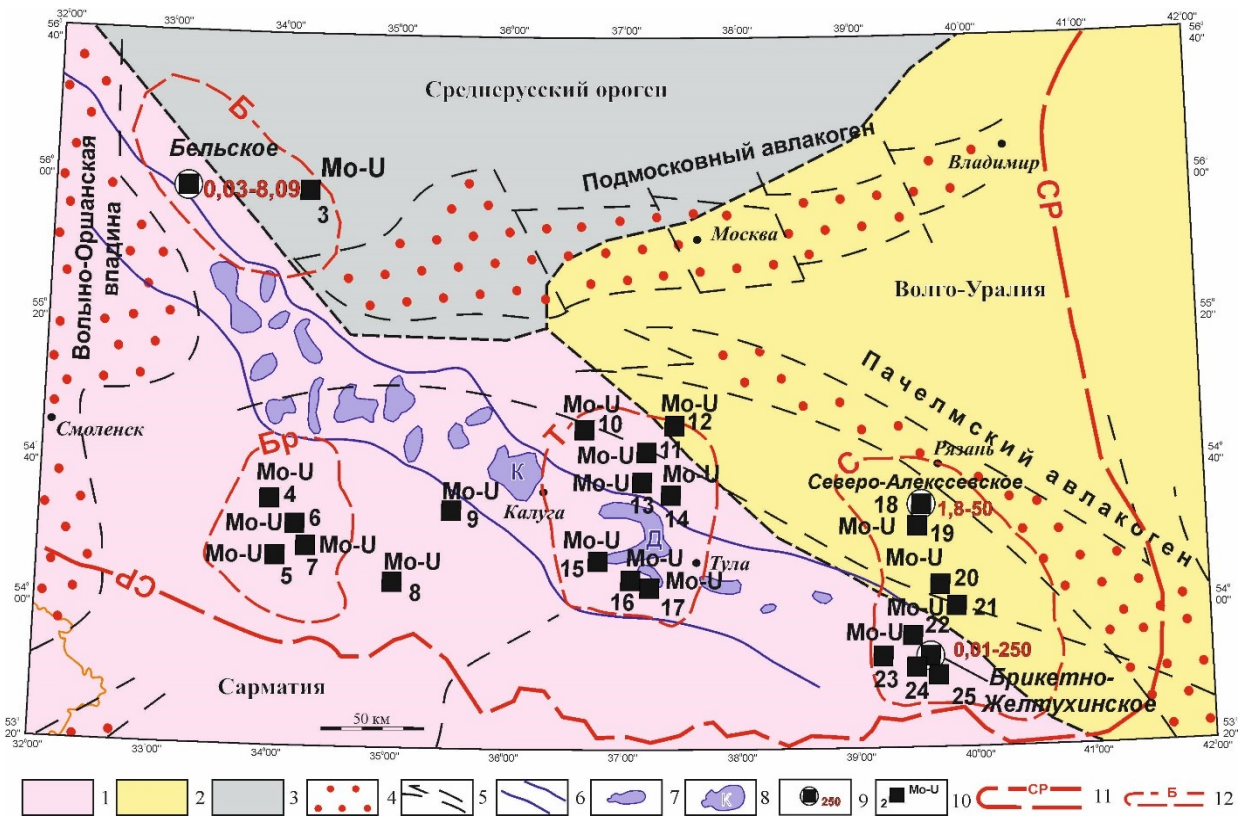


Рисунок 4.4. Схема размещения ренийносных металлогенических подразделений южной части Среднерусской ПРМО относительно блоков кристаллического фундамента и рифейских авлакогенов 1–3 – блоки фундамента по [Bogdanova, Gorbachev, Garetsky, 2005]: 1 – Сарматия, 2 – Волго-Уралия, 3 – Среднерусский межблоковый пояс; 4 – рифейские авлакогены; 5, 6 – границы: 5 – авлакогенов, 6 – Калужско-Бельской структурной зоны; 7 – вулканотектонические структуры Калужско-Бельской зоны, по [Петров, 1971]; 8 – наиболее крупные структуры Калужско-Бельской зоны (К – Калужская, Д – Дугнинская); 9 – Re-Mo-U месторождения (Бельское, Брикетно-Желтухинское) и Северо-Алексеевское проявление, красным цветом показано содержание рения (g/t); 10 – Mo-U проявления в песчано-глинистых отложениях и их номера (3 – Сычевское, 4 – Чипляевское, 5 – Кировское, 6 – Студеновское, 7 – Будское, 8 – Шлиповское, 9 – Бабынинское, 10 – Северо-Окское, 11 – Нечаевское, 12 – Пущинское, 13 – Казначеевское, 14 – Лаптевское, 15 – Веригинское, 16 – Труфаново-Воскресенское, 17 – Западно-Щекинское, 18 – Северо-Алексеевское, 19 – Рязанское, 20 – Юраковское, 21 – Волковское, 22 – Вослебовское, 23 – Западно-Скопинское, 24 – Восточно-Вердинское, 25 – Южно-Скопинское); 11 – Среднерусская ПРМО; 12 – потенциально ренийносные районы (Б – Бельский, Бр – Барятинский, Т – Тульский, С – Скопинский).

«Молодой» возраст формирования ряда ренийсодержащих объектов находит соответствие с развитием структурно-тектонического рисунка региона. Так, например, для Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского месторождения, расположенного в угленосных отложениях нижнего карбона Подмосковного бассейна, наблюдается связь не только с «древними» тектоническими элементами строения территории (борта авлакогенов, блоки кристаллического фундамента), но и активизированными на киммерийском и альпийском этапе и активными в настоящее время. Так, месторождение и ряд проявлений приурочены к полосовой гелиевой аномалией [Геологическое строение СССР, 1989], а глубинное происхождение гелия общепризнано [Игнатов, Цуранов, Кожурин, 2005].

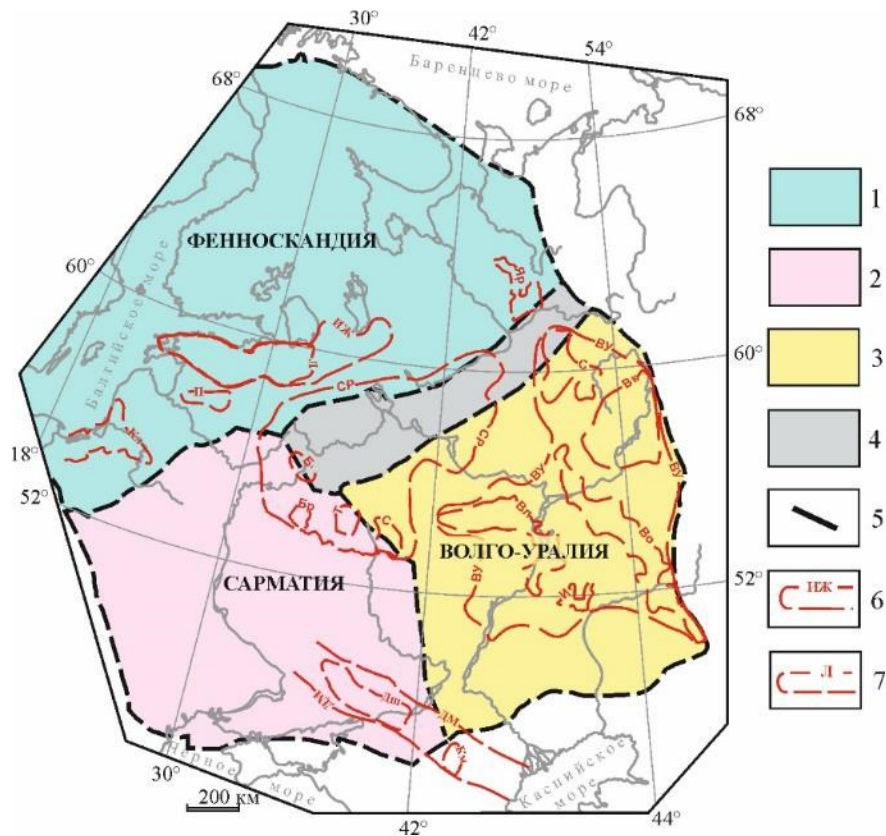


Рисунок 4.5 Схема размещения металлогенических подразделений относительно блоков кристаллического фундамента

Составлена с использованием [Vogdanova, Gorbachev, Garetsky, 2005; Геология ..., 2006]. 1-3 – блоки коры и их возраст: 1 – Фенноскандия (1,95–1,65 млрд лет); 2 – Сарматия (2,1–2,0 млрд лет), 3 – Волго-Уралия (2,0–1,95 млрд лет); 4 – Среднерусский коллизионного пояса (1,8–1,75 млрд лет); 5 – границы блоков кристаллического фундамента; 6 – ПРМО; 6 – ПРР. Названия ПРМО и ПРР на рисунке 4.2.

Региональная структурно-геологическая позиция Re-Mo-U объектов свидетельствует о наличии структурного контроля в локализации ренийсодержащей формации, что может указывать на участие глубинных металлоносных флюидов в их формировании при поступлении последних в осадочный чехол по проницаемым субвертикальным разрывным нарушениям.

В результате анализа данных была установлена пространственная связь в размещении различных ренийсодержащих формаций и региональных рифтогенных тектонических структур. Так, верхнеюрских сланцы (ренийсодержащая формация горючих сланцев) Яренгского ПРР располагается над осевой зоной Керецко-Лешуконского авлакогена и в зоне его сочленения с ортогональным к нему Котлас-Яренгским авлакогеном северо-восточного простирания (Рисунок 4.3); Сысольский ПРР, располагается в краевой части Вятско-Кажимского авлакогена, а Калининградский ПРР расположен над рифтом-грабенем в фундаменте Балтийской синеклизы. Донецко-Маньчская ПРМО и входящие ее состав Калмыкский ПРР и Донецко-Шахтинский ПРР приурочена к Припятско-Доно-Мангышлакской складчатой системе.

Таким образом, сравнительный анализ площадного распределения ренийсодержащих формаций в осадочном чехле ВЕП и тектонического строения территории свидетельствует о наличии пространственной связи масштабного ренийсодержащего оруденения в осадочном чехле с погребенными рифтогенными системами различного возраста. В центральных районах ВЕП это рифейские авлакогены, представляющие собой долгоживущие структуры «надразломного» типа, а на южной периферии региона - это палеозойская Припятско-Доно-Мангышлакская складчатая система. Такая связь определяется специфическим тектоническим, а главное «флюидным» режимом территории и повышенной проницаемостью осадочного чехла. Оруденение часто приурочено к толщам, обогащенным органическим веществом и сформированным во впадинах, пространственно связанным с рифтовыми структурами.

Многоуровневое размещение ренийсодержащих формаций. Слоистая (многоуровневая, многослойная) структуру осадочного чехла определяет мотив размещения полезных ископаемых (особенно объектов стратиформного типа) на данной территории.

Ранее на примере урановых объектов европейской части России (северо-запад Русской плиты и вал Карпинского), приуроченных к породам осадочного чехла, была показана возможность выделения многоуровневых урановорудных районов [Енгальчев, 2012а], в пределах которых урановое (и комплексное уран-редкометалльное) оруденение расположено на двух уровнях разреза. Такие районы получили название многоуровневых, так как оруденение располагается на нескольких уровнях разреза. Рудонасыщенность и разнообразие типов оруденения позволяет рассматривать такие районы в качестве особых перспективных территорий, рудный потенциал которых не раскрыт в полной мере.

В контексте определения подходов для выделения многоуровневых районов (зон), интересные сведения приведены в работе В.С. Салихова [Салихов, 2011], в которой предложена концепция формирования медного оруденения различных геолого-промышленных типов в единых зонах земной коры. Основная идея состоит в рассмотрении таких структурных зон как единых самоорганизующихся рудоносных систем, имеющих длительное развитие. Несложно заметить, что такие системы имеют многоуровневое строение, а более позднее оруденение было сформировано за счет более раннего.

Совмещение в пространстве ренийсодержащих объектов, расположенных на различных уровнях разреза осадочного чехла ВЕП, позволили выявить новые ранее не известную закономерность их размещения в осадочном чехле [Енгальчев, 2019б].

Ниже, в качестве примеров, территорий, где ренийсодержащее оруденение располагается на нескольких уровнях разреза осадочного чехла.

1. Территория центральной части Волжского ПРР в тектоническом отношении приурочена к северо-западному склону Жигулевско-Пугачевского свода,

осложненному Жигулевским валом который представляет собой флексуроподобную складку длиной 360 км и шириной 10–20 км. С севера вал ограничен одноименным глубинным разломом, проявленным в кристаллическом фундаменте. Дислокации в пределах Жигулевского разлома формировались в палеозойский период, а в мезозое, а затем в кайнозое по этому разлому прошли более интенсивные вертикальные перемещения.

Осадочный чехол Жигулевско-Пугачевского свода представлен мощной, более 1,5 км толщей пород, которые сформировались в два тектоно-седиментационных этапа: средне-позднепалеозойский (D_2-P_2) и мезозойско-кайнозойский (J_2-Q). Этапы разделены длительным стратиграфическим перерывом ($T-J_2$).

Здесь установлено уран-битумное оруденение (Репьевское месторождение, четыре проявления: Новоспасское, Сызранское, Зольское, Красноярское) ренийсодержащая формация битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная. Оруденение имеет мезозойский возраст (160 млн лет, верхняя юра) и связано с эксфильтрацией термальных вод и контролируется восстановительной зональностью.

Над месторождением и в непосредственной близости от него располагаются залежи углеродистых (горючих) сланцев Кашпирского месторождения горючих сланцев верхней юры, (ренийсодержащая формация Горючих сланцев) [Самойлов и др., 2015; 2017]. Обращает на себя внимание позднеюрский возраст формирования Репьевского месторождения и горючих сланцев. Можно полагать, что рений поступал в углеродистые осадки верхнеюрского палеобассейна из придонных вод, в которые он в свою очередь поступал при разгрузке восходящих термальных вод, участвующих в формировании Репьевского месторождения.

2. Территория Калмыкского ПРР. Здесь выделяется два типа объектов ренийсодержащих формации: Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом и Урановая терригенная палеодолин. Объекты первой распложена на нижнем уровне разреза представлен группой месторождений, связанными с костным ихтиодетритом (в породах майкопской серии), а верхний уровень - эпигенетическими объектами, приуроченными к палеодолинам системы палео-Дона (миоцен), врезанной в породы майкопской серии. Источником рения, вероятнее всего, являются специализированные на уран (а также молибден и рений) нижележащие отложения майкопской серии.

3. Территория Донецко-Шахтинского ПРР. В геолого-структурном отношении зона находится в пределах Припятско-Дона-Маньчской складчатой системы на территории Складчатого Донбасса. Важную роль в строении территории играют разрывные нарушения, во многих случаях определяющие границы геологических структур и контролирующие размещение оруденения.

В строении разреза осадочного чехла Донбасса принимают участие образования нижнего, среднего палеозоя, карбона, перми, триаса, мела, палеогена и неогена. Рассматриваемая территория испытала несколько этапов тектоно-магматической активизации и имеет специфический металлогенический профиль: ртуть (Никитовское, Константиновское и другие месторождения), полиметаллы, медь (медистые песчаники), соль, битумы, уран, золото. При этом угли среднего карбона Донецкого бассейна, по сравнению с остальными углями России, имеют ренийевую специализацию (содержания Re в углях 0,4–0,7 г/т) [Карта угленосности ..., 1996].

Нижний уровень представлены Каменноугольной ренийсодержащей формацией и приурочены к среднекаменноугольным углям. Верхний уровень представлены размещаются уран-битумными месторождениями Адамовское, Краснооскольское, Берекское и рядом проявлений (ренийсодержащая формация Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная) [Металлические ..., 2005]. На данной территории также располагаются потенциально перспективные на рений медистые песчаники нижней перми (формация Медистых песчаников и сланцев). Все эти объекты приурочены к единой тектонической зоне.

Многоуровневые ренийсодержащие (рениеносные) системы, вероятнее всего, расположены и на территории Лужского ПРР, а также в южной части Волго-Уральской ПРМО. На этих территориях глубокие уровни разреза на рений не изучены, в связи с чем представлены ниже примеры (4 и 5) носят предположительный характер.

4. Территория Лужского ПРР. Верхний уровень представлен диктионемовыми сланцами нижнего ордовика (формация Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах). В толще сланцев выявлены непромышленные месторождения урана – Ранноловское, Котловское, Кайболовское, Кумоловское, Гостилицкое, Красносельское [Уран..., 2010]. Содержание урана в сланцах колеблется от 0,018 до 0,028 % на мощность 1,2–2,2 м. Высока вероятность обнаружения Re на нижнем вендском уровне разреза осадочного чехла (на глубине 250–400 м), где в базальных песчаниках позднего венда и коре выветривания фундамента, установлены урановые (с Mo) месторождения Ратницкое, Рябиновское, Славянское и ряд проявлений [Иванова, Грушевой, 2010]. В их составе может быть обнаружен рений. Обращает на себя внимание расположение этих урановых месторождений и проявления, связанных с предвендским несогласием, непосредственно в полосе Балтийско-Ладожского глинта, где располагается область развития диктионемовых сланцев.

5. Территория Вятско-Оренбургского ПРР. В верхней части осадочного чехла в отложениях уфимского, казанского и татарского яруса перми развиты медистые песчаники (формация Медистых песчаников и сланцев). Меденосные площади контролируются валлообразными поднятиями, фиксирующимися по опорным горизонтам пермских отложений, и

отсутствуют над депрессиями. В пределах таких поднятий положение медного оруденения определяется брахиантиклинальными структурами низких порядков. В медистых песчаниках установлены повышенные содержания V (до 1 %), Ag (до 10 г/т), Pb и Zn (до 2–3 %), Cd, Ge, Se, Te, Co, Re (до 0,42 г/т) [Поплавко и др. 1977; Енгальчев, 2019г]. Ранее в медных рудах на территории Татарстана были выявлены повышенные содержания благородных металлов (платина, палладий) [Геология ..., 1999].

Ниже в отложениях девона и карбона размещаются залежи нефти. В ряде месторождениях высоковязких нефтях установлены высокие концентрации рения [Металлургия рения, 2007]. Можно полагать, что и другие месторождения нефти, расположенные в полосе развития медистых песчаников, могут быть обогащены рением. Нельзя исключать, что и более глубокие уровни разреза, а также в подземные воды глубокой циркуляции могут быть обогащены рением.

Таким образом, в результате проведенного анализа установлено, в осадочном чехле региона ренийсодержащие формации могут располагаться на нескольких уровнях разреза, а в пределах некоторых районов иметь многоуровневый характер (на территории Центральную часть Волжского района, Калмыкский район, Донецко-Шахтинский район, а также, вероятно, Лужский район и Вятско-Оренбургский район).

В качестве критериев для выделения многоуровневых систем выступает комплекс признаков, включающий историю развития и особенности геологического строения территории, рудоносность (в том числе угленосность, сланценосность, битуминозность), нефтегазоносность, тектоническую нарушенность территории, особенности проявления гидрогеологических процессов в прошлом и многие другие.

Сведения и нефтегазоносности территории особенно важно в контексте исследования осадочных бассейнов, в пределах которых располагаются как месторождения твердых полезных ископаемых, так и залежи углеводородов. В последнее время все больше исследователей развивают новое направление – нафторудогенез, обосновывающее наличие пространственно-временных закономерностей размещения крупных рудных месторождений и углеводородов в осадочных бассейнах [Аплонов, Лебедев, 2010].

Одним из значимых критериев размещения многоуровневых систем, несомненно, является структурный фактор, проявленный в виде одного или нескольких тектонических нарушений в осадочном чехле – разломов, надвигов, зон трещиноватости, погребенных и подновленных захороненных структур, зон брекчирования и др. Такие нарушения сплошности слоистой осадочных толщ являются «каналами» вертикальной миграции (и, вероятно, циркуляции) флюидов.

Имеющиеся материалы позволили обосновать наличие связи в размещении ренийсодержащих объектов в пределах некоторых районов на нескольких уровнях разреза. Теоретически, с известной долей условности, их можно рассматривать в качестве единой системы в которой объекты, локализованные на различных уровнях разреза, имеют не только пространственную, но и генетическую связь. последнее позволяет использовать данных подход при прогнозировании рениевого оруденения на более глубокие уровни разрезе осадочного чехла, а также рассматривать нижележащие комплексы отложений в качестве гипотетического источника рудного вещества.

Можно полагать, что и на территории других платформ со сходным геологическим строением, высока вероятность обнаружения рениевого оруденения на нескольких уровнях разреза осадочного чехла.

Анализ разноплановых материалов по описанным выше районам, где наблюдается многоуровневый характер размещения рениевого оруденения, свидетельствует об их яркой индивидуальности и своеобразии, что препятствует разработке единой модели их формирования. Однако, для каждого из них характерен структурный контроль, проявленный в наличии одного или нескольких секущих тектонических нарушений (разломы, надвиги, зоны трещиноватости, зоны брекчирования и др.) в осадочном чехле и, возможно, кристаллическом фундаменте. Такие нарушения сплошности осадочных толщ, часто имеющие рифтогенную природу, могут являться «каналами» вертикальной миграции и, возможно, циркуляции флюидов. К ним могут быть приурочены участки «флюидных разгрузок», выраженные в виде грязевых вулканов, термальных источников, углеводородных «сипов» и др. В силу особенностей геологического строения такие районы имеют «особые» гидрогеологические условия: здесь могут наблюдаться контрастные изменения в химическом и газовом составе подземных вод, их динамики и температуры. При этом все эти параметры влияют на характер проявления эпигенетических процессов.

Одним из механизмов формирования оруденения на нескольких уровнях разреза можно рассматривать механизм «наследования», когда за счет более древнего оруденения, в ходе его перераспределения, при участии эпигенетических процессов, формируются новые объекты.

Таким образом, в качестве основных пространственных региональных закономерностей размещения ренийсодержащих формаций в осадочном чехле выступают следующие: к краевым (периферийным) зонам ВЕП приурочены следующие формации: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах (нижний ордовик), каменноугольная (карбон), битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (верхний карбон), урановая терригенная палеодолин (пермь, миоцен), медистых песчаников и сланцев (пермь), горючих сланцев (верхняя юра) и фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом (олигоцен-миоцен), тогда как к

центральным центральной части платформы располагаются формации: молибденовая в пестроцветных отложениях (верхний девон) и урановая в угленосных отложениях (нижний карбон). Региональный контроль в размещении формаций определяется: положением осадочных палеобассейнов, содержащих горизонты, обогащенные органическим веществом; наличием погребенных рифтогенных структур в фундаменте и проявлением эпигенетических процессов окислительно-восстановительного типа.

В осадочном чехле региона выделены территории, где ренийсодержащие оруденение различных формационных типов локализовано на различных уровнях разреза, образуя многоуровневые системы. В качестве примера рассматриваются территория Центральную часть Волжского района, Калмыкский район, Донецко-Шахтинский район, а также, вероятно, Лужский район и Вятско-Оренбургский район.

Полученные данные можно использовать как для прогнозирования ренийсодержащих объектов в осадочном чехле ВЕП, так и на территории других платформ со сходным геологическим строением.

ГЛАВА 5. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НА РЕНИЙ ОБЛАСТИ И РАЙОНЫ

5.1. Металлогеническое районирование на рений

До последнего времени районирования на рений территории развития осадочного чехла ВЕП не проводилось, а поисковые и оценочные работы были сосредоточены только на отдельных объектах (месторождениях, фрагментах осадочных бассейнов), где ранее, были установлены повышенные содержания Re. Как известно, ориентация на известные районы не позволяет дать объективную оценку ренийности территории и сформулировать направление для дальнейших прогнозно-поисковых исследований.

Прямыми признаками прогнозирования ренийсодержащего оруденения являются: ренийсодержащие месторождения и проявления, пункты минерализации различных типов. Косвенными признаками рениевого оруденения являются геохимические и гидрохимические ореолы Re и его элементов-спутников (Mo, U, V, Se и др.).

Автором для проведения металлогенического анализа на рений рассматриваемого региона были выделены рудоконтролирующие факторы регионального и районного уровня. В качестве таковых выделяются тектонический, литологический, гидрогеологический и палеогеоморфологический фактор.

1. Тектонический фактор учитывает крупные тектонические элементы строения осадочного чехла (синеклизы, антеклизы, поднятия, впадины и др.), разрывные нарушения (I, II порядка), зоны тектонической нарушенности в осадочном чехле, наличие рифтогенных структур (в том числе авлакогенов). Наложённые на рифты впадины осадочного чехла, могут вмещать специализированные на рений толщи. Тектонические нарушения в породах осадочного чехла могут являться каналами миграции флюидов (в том числе потенциально рудоносных), а также контролировать участки (или зоны) размещения изменённых пород, затронутых низкотемпературными гидротермально-метасоматическими и эпигенетическими процессами.

2. Литологический фактор. Анализ материалов свидетельствует о наличии связи ренийсодержащих пород и руд с осадочными комплексами чехла, обогащёнными органическим веществом (углеродистые сланцы, битумы, области распространения нефтей и битумов и др.). Наиболее ярко она проявляется в углеродистых сланцах: в диктионемовых сланцах нижнего ордовика Прибалтийского бассейна; в верхнеюрских горючих сланцах Волжского, Сысольского и Яренгского горючесланцевых районов.

Ренийсодержащее оруденение также может ассоциировать с угленосными отложениями. Так, Re-Mo-U Бельское и Брикетно-Желтухинское месторождение, приурочены к угленосным

отложениям Подмосковского буроугольного бассейна. По данным [Карта угленосности ..., 1996] угли Донбасса специализированы на Re.

Повышенные содержания Re установлены также в обогащенных органическим веществом уран-редкометалльных органогенно-фосфатных рудах вала Карпинского, и в нефтях Волго-Уральской нефтегазоносной области [Готтих, Писоцкий, Журавлев, 2008].

К данному фактору также относятся области размещения (выходящие на поверхность или погребенные) специализированных на рений пород: углеродистых сланцев, углей, нефтей и битумов.

При прогнозировании ренийсодержащих эпигенетических (инфильтрационного и эксфильтрационного типа) объектов важным признаком является наличие в осадочных породах разнообразных эпигенетических изменений, проявленных в изменении окраски пород, их минерального и химического состава, сложении (пористости, вторичной цементации и др.), обогащенности (обедненности) органическим веществом и сульфидной минерализацией и др.

3. Гидрогеологический фактор объединяет сведения об особенностях миграции рения в поверхностных и подземных водах, как в настоящее время, так и в прошлые геологические эпохи (палеогидрогеология), а также учитывает размещение артезианских бассейнов с повышенным содержанием йода и брома, зон разгрузки подземных вод, в том числе содержащих углеводороды, расположение зон развития термальных вод, которые потенциально могут содержать в своем составе рений.

4. Палеогеоморфологический фактор объединяет разновозрастные палеодолины, которые, как правило, приурочены к тектоническим нарушениям осадочного чехла и выполнены проницаемыми, песчаными или алевро-песчаными отложениями. К таким образованиям приурочено Re-U-Mo оруденение в Подмосковном бассейне (формация Урановая в угленосных отложениях). К системе палеодолин (палеоврезов, палеодепрессий) низовьев палео-Дона приурочено и Балковское месторождение урана (формация Урановая терригенная палеодолин). Вероятно, палеодолины Верхнекамского района, вмещающие урановое оруденение, также перспективны на выявление рения. Палеогеоморфологический фактор является одним из ведущих при прогнозировании участков развития эпигенетического инфильтрационного оруденения в осадочных комплексах платформенных областей.

В настоящее время при прогнозно-геологических работах рекомендуется придерживаться следующей иерархии подразделений [Металлогенический ... , 2012]:

- провинции и пояса, отвечающие крупным геотектоническим структурам земной коры (складчатые системы, щиты, плиты, вулканогенные пояса) и объединяющие проявления разновозрастного и разно-формационного оруденения;

- области и структурно-металлогенические зоны, объединяющие разновозрастные рудные объекты различных рудно-формационных типов;
- районы и зоны, определяющие развитие определенного рудно-формационного типа оруденения.
- узлы и поля, отвечающие конкретным структурным элементам земной коры.

Каждое подразделение представляет собой объемный блок земной коры. При металлогеническом районировании, проводимом при прогнозных исследованиях, границы перспективных площадей должны быть увязаны с контурами геологических тел, околорудных изменений пород и другими рудоконтролирующими факторами. Основные объекты прогнозирования ресурсов категорий Р₃, рудные районы и узлы. Для провинций, поясов, структурно-металлогенических зон возможна лишь оценка их металлогенического потенциала.

В результате металлогенического анализа на Re автором были выделены потенциально рениеносные металлогенические области (ПРМО) и потенциально рениеносные районы (ПРР). Ранжирование выделенных таксонов проведено в соответствии с [Металлогенический ... , 2012].

Под этими понятиями мы понимаем:

Потенциально рениеносная металлогеническая область. Относится к подразделениям регионального уровня. Она представляет собой блок платформ, интракратонные прогибы и вулканогенные пояса, срединные массивы, системы межгорных и краевых депрессий молодых платформ, с комплексом геохимически специализированных на рений осадочных, метаморфических и магматогенных формаций. В пределах таких областей присутствует ренийсодержащее оруденение. На основе анализов материалов по изученности территории и сведений о геологическом строении, рудоносности и рениеносности территория в ее пределах существует потенциальная возможность обнаружения ренийсодержащего оруденения. Данное подразделение аналогично по своему значению металлогенической зоне, но в отличие от последней, не имеет отчетливо выраженной линейности. Площадь областей до $n \times 10000$ кв. км.

Потенциально рениеносный район. Относится к подразделениям локального уровня. Это обособленная часть ПРМО, в пределах которой располагаются ренийсодержащие объекты (месторождения, проявления, пункты минерализации) или имеются перспективы их обнаружения. Выявленное ренийсодержащее оруденение возникло при развитии геологических процессов, общих для ПРМО в целом. Все потенциально ПРР, входящие в ПРМО, несут некоторые специфические черты геологического строения, магматизма и минерализации присущей этой ПРМО. Выделение ПРР базируется на факторах локального изменения геологических условий. В некоторых случаях возможно выделение ПРР вне ПРМО. Обычно в ПРР сосредоточены сходные по генезису и, как правило, разновозрастные ренийсодержащие

месторождения и проявления. Иногда ПРР могут включать месторождения разных генетических типов, однако, ведущее промышленное значение при этом, обычно, имеет лишь один из них. Ренийсодержащее оруденение может располагаться на нескольких уровнях разреза осадочного чехла и фундамента. Главными признаками для выделения рудных районов являются ренийсодержащие рудные формации и факторы, характеризующие предполагаемый источник рудного вещества, пути его миграции и места локализации рудного вещества. Площадь районов составляет $n \times 100$ - $n \times 1000$ км кв.

По результатам проведенного металлогенического анализа на рассматриваемой территории выделены 19 металлогенических таксонов: четыре ПРМО и 15 ПРР (Рисунок 5.1).

На схеме прогнозно-металлогенического районирования территории видно, что таксоны регионального уровня (ПРМО) отвечают крупным элементам строения территории – моноклизам, синеклизам, антеклизам. Так, например, Ижорская ПРМО приурочена к Прибалтийско-Ладожской моноклинали, Среднерусская ПРМО к Московской синеклизе, Волго-Уральская ПРМО к Волго-Уральской антеклизе, а Донецко-Маньчская ПРМО к линеamentу Карпинского. Подразделения более низкого ранга – потенциально ренийносные районы занимают части синеклиз, антеклиз или фрагменты моноклиналей и седловин. Например, Печорский ПРР приурочен к северной части Латвийской седловины, а Калининградский ПРР – к южной части Балтийской синеклизы.

Для понимания взаимоотношения выявленных металлогенических таксонов, относительно соседних регионов и общей оценке ренийносности территории Российской Федерации была подготовлена прогнозная карта (Рисунок 5.2). Она является результатом обобщения и последующего анализа значительного объема материалов по ренийносности страны. При создании карты были использованы опубликованные данные [Трач, Бескин, 2011; Бескин, Алексеева, 2016] многочисленные Государственные геологические карты масштаба 1:1 000 000, а также балансы полезных ископаемых за 2023 год, Паспорта перспективных объектов кат.Рз (ФГБУ «Институт Карпинского») и авторские материалы.

Из анализа данной карты следует, что в настоящее время чехол ВЕП, где рений присутствует в составе целого ряда ренийсодержащих формациях, представляет значительный интерес как для доизучения ряда перспективных территорий и объектов, так и для выявления новых.

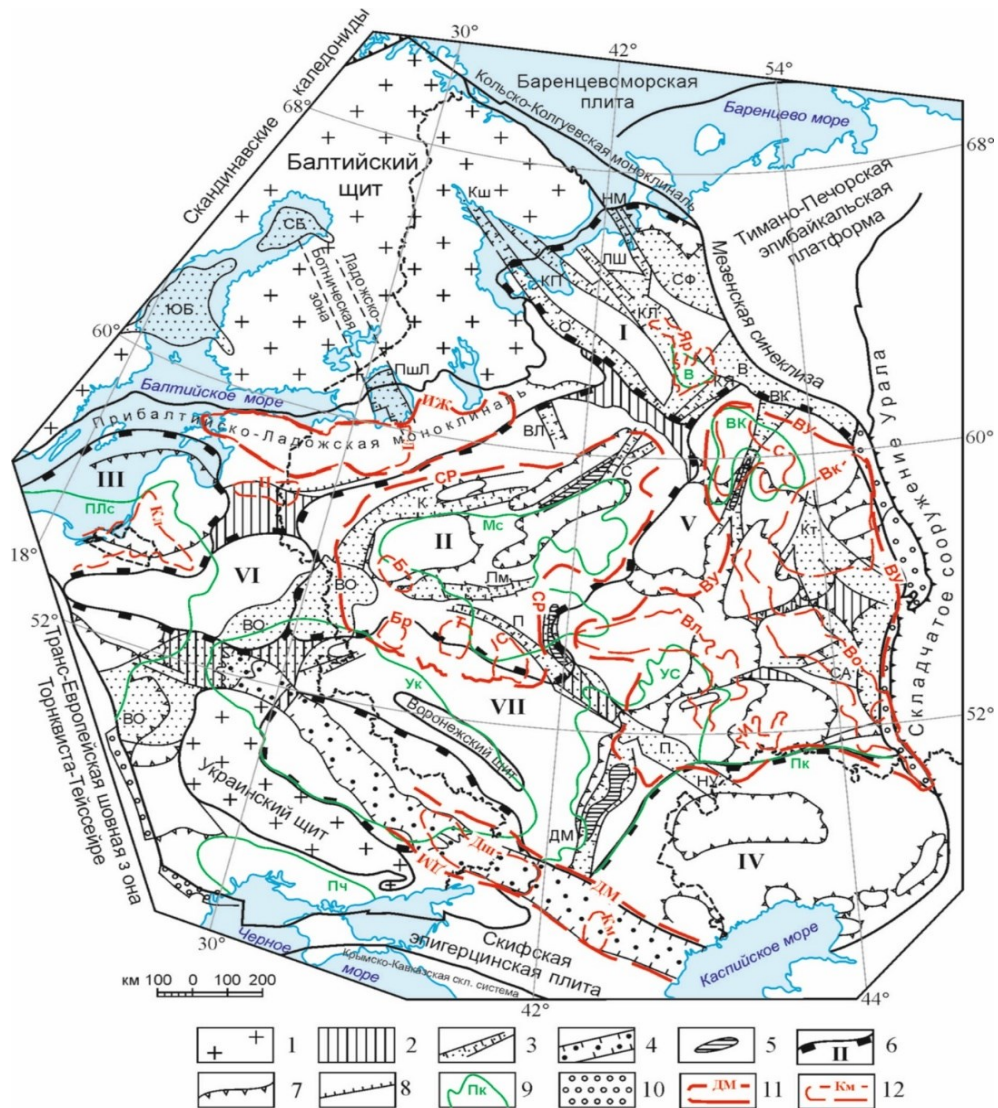


Рисунок 5.1. Схема размещения ПРМО и ПРР относительно основных тектонических элементов региона, в том числе рифтогенных структур различного возраста и наложенных на них впадин осадочного чехла

1 – щиты; 2 – седловины; 3 – авлакогены, рифейские впадины и прогибы (авлакогены: ВК – Вятско-Кажимский, ВЛ – Воже-Лачский, ДМ – Доно-Медведицкий, К – Крестцовский, КЛ – Керецко-Лешуконский; Кт – Калтасинский (Камско-Бельский), КП – Керецко-Пинежский, Ки – Кандалякшинский, КЯ – Котлас-Яренский, ЛШ – Лешуконский, НМ – Нижнемезенский, НУ – Ново-Узенский, О – Онежский, П – Пачелмский (Рязано-Саратовский), Пм – Подмосковный (Московский), ПшЛ – Пашско-Ладужский, С – Солигаличский и Рослятинский, СА – Сергиевско-Абдулинский. впадины и прогибы: СБ – Северо-Ботническая, ЮБ – Южно-Ботническая, ВО – Волыно-Орианская, В – Вычегодский, Сф – Сафоновский); 4 – рифты палеозойские (Доно-Мангышлакская складчатая система); 5 – инверсионные структуры; 6 – границы синеклиз (I – Мезенская, II – Московская, III – Балтийская, VI – Прикаспийская) и антеклиз (V – Волго-Уральская VI – Мазурско-Белорусская, VII – Воронежская); 7 – границы впадин, прогибов и сводов, 9 – границы мезозойско-кайнозойских наложенных и частично унаследованных структур (синеклиз, прогибов, впадин): (синеклизы: ПЛс – Польско-Литовская синеклиза, Ук – Украинская, Пк – Прикаспийская; УС – Ульяновско-Саратовский прогиб; впадины: Пч – Причерноморская, ВК – Вятско-Камская, В – Ваишская, Мс – Московская); 10 – краевые прогибы; 11-12 элементы прогнозно-металлогенического районирования на Re, 11 – ПРМО: ИЖ – Ижорская, СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Маньчская; 12 – ПРР: Л – Лужский; Б – Бельский, Т – Тульский, Ск – Скопинский, Бр – Брятинский; Вк – Верхнекамский, Во – Вятско-Оренбургский, Вл – Волжский, И – Иргизский, С – Сысольский; Дш – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский; П – Печорский ПРР, Кл – Калининградский, Яр – Яренский.

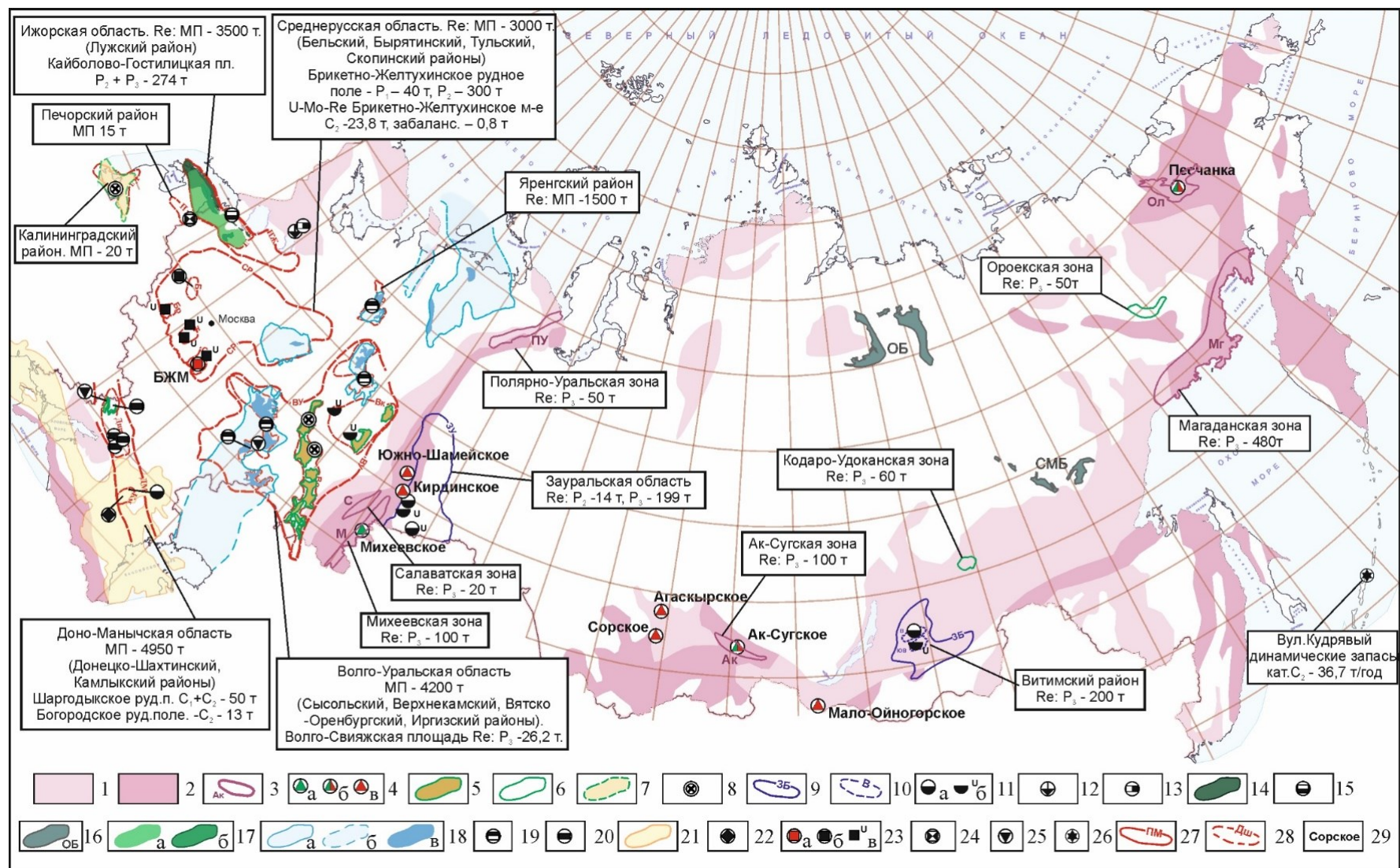


Рисунок 5.2. Прогнозная карта рениенности территории Российской Федерации

1-2 - территории перспективные на медно-порфировое оруденение; 1 - ограниченно перспективные, приходящиеся на части древних платформ, на эпикратонные подвижные пояса и на срединные или краевые массивы среди складчатых областей, 2 –перспективные области, приходящиеся складчатые области или их части; 3 – зоны перспективные на выявление месторождений медно-порфирового семейства с рениевой специализацией (С – Салаватская, М – Михеевская, ПУ – Полярно-Уральская, Аг – Аг-Сугская, Ол – Олойская, Мг – Магаданская); 4 – месторождения медно-молибден порфирового семейства с оцененными запасами: а – месторождения медно-порфировой формации, б – месторождения молибден-медно-порфировой и медно-молибден-порфировой формации, в – месторождения молибден порфировой формации); 5 – перспективные на рений зоны (площади), связанные с медистыми песчаниками (формация - ренийсодержащая медистых песчаников и сланцев) пермского возраста (Вятско-Камская, Южно-Уральская, Приуральская Донбасская меденосные зона); 6 – перспективные на рений зоны, связанные с медистыми песчаниками (КД - Кодаро-Удоканская, Ор – Ороеканская); 7 – область распространения потенциально меденосной формации перми Балтийской синеклизы; 8 – проявления ренийсодержащей формации медистых песчаников и сланцев; 9 – перспективные на рений области с объектами гидрогенного инфильтрационного типа (ЗУ – Зауральская, ЗБ – Забайкальская); 10 – перспективные на рений районы с объектами гидрогенного инфильтрационного типа (В – Витимский, ЮВ – Южно-Витимский); 11 – урановые (часто с Мо, Se, Re) месторождения формации – Урановая терригенная палеодолин (а – оцененная на рений (Хиагдинское, Витимский район Забайкалье; Далматовское, юг Западной Сибири; Балковское, Гашиунская впадина, Калмыкия), б – не оцененная на рений (Виноградовское, Черепановское, восточные районы ВЕП); 12 – месторождения ренийсодержащей формации Уран-благороднометалльно-ванадиевая в слюдисто-щелочных метасоматитах (м-е Средняя Падма, Онежская впадина, Балтийский (Фенноскандинавский) щит); 13 – месторождения формации ренийсодержащая Шунгитовая черносланцевая (м-е Шуньга, Онежская впадина, Балтийский (Фенноскандинавский) щит); 14 – область распространения диктионемовых сланцев нижнего ордовика, формация ренийсодержащая ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; 15 – проявления рения формации ренийсодержащая ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; 16 - области развития горючих сланцев нижне-среднекембрийского возраста (ОБ – Оленекский бассейн, СМБ - Синско-Майский бассейн); 17 – область распространения горючих сланцев-кукерситов среднего ордовика, формация – ренийсодержащая горючих сланцев (а – область распространения, б – контуры месторождений сланцев-кукурситов); 18 - область распространения углеродистых сланцев верхнеюрского возраста (преимущественно развиты на территории ВЕП), ренийсодержащая формация горючих сланцев (а - границы установленные, б – предполагаемые, в – контуры месторождений горючих сланцев); 19 – оцененные на рений месторождения горючих сланцев, формация ренийсодержащая горючих сланцев; 20 - оцененные на рений месторождения угля или их части, формация ренийсодержащая каменноугольная; 21 – область распространения отложений майкопской серии (олигоцен-миоцен); 22 - оцененные на рений месторождения формации ренийсодержащая фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом; 23 – месторождения и проявления формации Урановая в угленосных отложениях (а – оцененные на рений с установленными запасами (Брикетно-Желтухинское), б – оцененные на рений (Бельское, Подмосковный бассейн, ВЕП), б – урановые, не оцененные на рений); 24 – проявления формации ренийсодержащая Молибденовая в глинах терригенная пестроцветная (Печорское проявление, северо-запад ВЕП); 25 – месторождения формации ренийсодержащая Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (месторождения Репьевское, Среднее Поволжье, Адамовское, Донбасс, и др.); 26 – современные вулканические возгоны и сублиматы с Re (вулкан Кудрявый, Южные Курилы); 27 – 28 - элементы прогнозно-металлогенического районирования на Re территории развития осадочного чехла ВЕП; 27 – ПРМО: ИЖ – Ижорская, СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Манычская; 28 – ПРР: Л – Лужский; Б – Бельский, Т – Тульский, Ск – Скопинский, Бр – Брятинский; Вк – Верхнекамский, Во – Вятско-Оренбургский, Вл – Волжский, И – Иргизский, С – Сысольский; Ди – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский; П – Печорский ПРР, Кл – Калининградский, Яр – Яренский; 29 – месторождения с установленными запасами Re поставленными на баланс.

5.2. Ижорская потенциально рениеносная минерагеническая область

В административном отношении область находится на территории Ленинградской, Псковской, Новгородской и Вологодской областей России и северной Эстонии. В геологическом отношении она располагается на северо-западе Русской плиты, в зоне ее сочленения с Балтийским щитом в пределах Прибалтийской, Ладожской и Прионежской моноклиналей, осложненных протяженной Балтийско-Мезенской тектонической зоной (Рисунок 5.3). Площадь Ижорской ПРМО составляет 122,56 тыс. км². В ее западной части располагается Лужский ПРР.

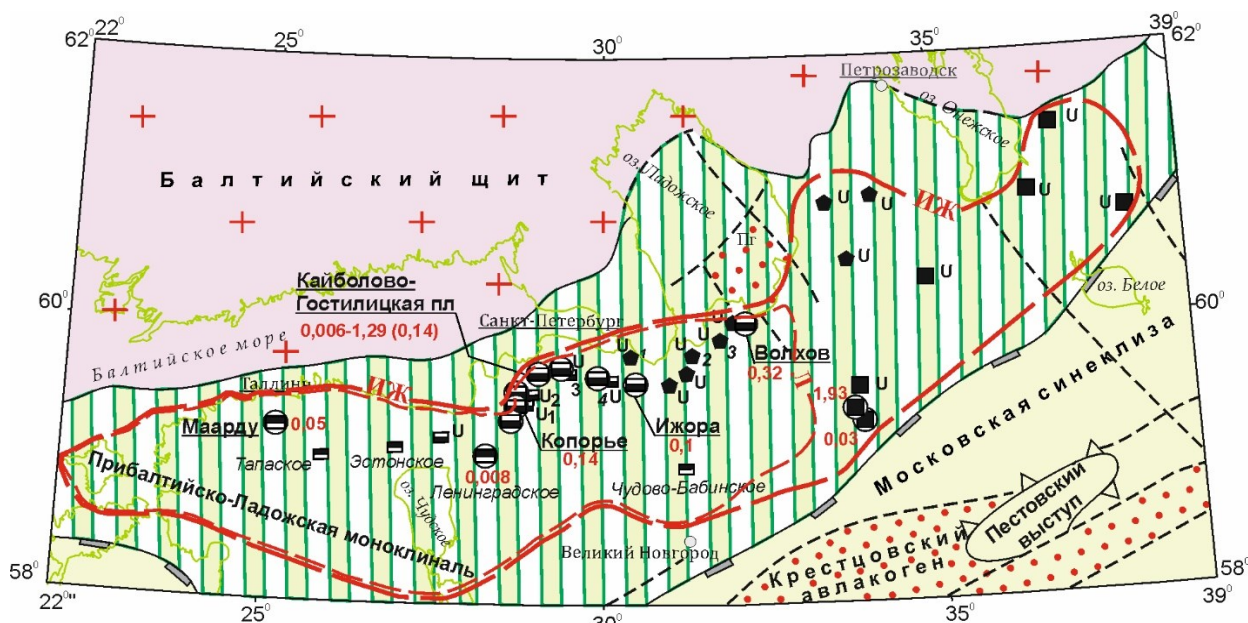


Рисунок 5.3. Тектоническая схема Ижорской потенциально рениеносной металлогенической области. Условные обозначения на Рисунке 5.4.

В пределах Ижорской ПРМО выделяется один установленный рениеносный уровень, связанный к нижнеордовикским углеродистым диктионемовыми сланцам, и три потенциальный рениеносных уровня: вендский, верхнеордовикский, и нижнекаменноугольный.

Нижнеордовикский уровень связан с толщей углеродистых диктионемовых сланцев тремадокского яруса нижнего ордовика. На поверхность пласт диктионемовых сланцев выводит в виде узкой зоны, протянувшейся в субширотном направлении из района Южного Приладожья, через Ленинградскую область на территорию северной Эстонии. Северной границей распространения сланцев является Балтийско-Ладожский глинт (донеогеновый абразионный уступ). Мощность диктионемовых сланцев колеблется от 0,2 м в восточной части Ленинградской области (районе р. Сясь) и до 4,5–5 м в западной части области (пос. Копорье – 5,25 м). Глубина залегания колеблется от 0 до 60 м. В южном направлении

мощность сланцев постепенно уменьшается до их полного выклинивания на расстоянии 15–20 км к югу от Балтийско-Ладожского глинта.

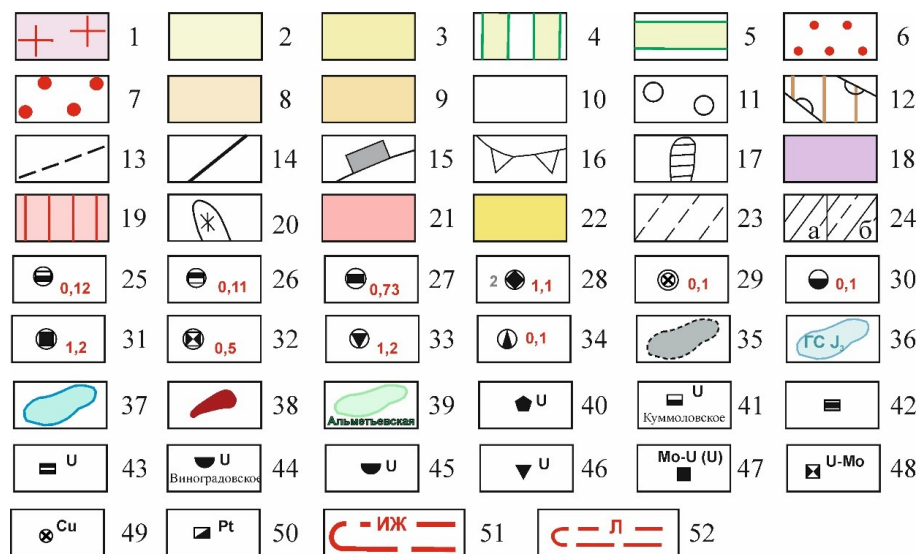


Рисунок 5.4. Условные обозначения к тектоническим и прогнозно-металлогеническим схемам
 1–24 – тектонические элементы: 1 – выступы фундамента, щиты; 2, 3 – структуры, осложняющие синеклизы: 2 – погребенные впадины, 3 – прогибы; 4 – моноклинали; 5 – седловины; 6 – авлакогены и впадины рифейские; 7 – Припятско-Доно-Мангышлакская система; 8 – антеклизы; 9 – своды антеклиз; 10 – прогибы; 11 – краевые прогибы; 12 – Камско-Кинельская система некомпенсированных прогибов; 13 – разломы; 14 – границы ВЕП и складчатых областей; 15 – границы синеклиз; 16 – границы впадин, прогибов, выступов; 17 – инверсионные структуры; 18 – обрамляющие складчатые системы; 19–21 – Тимано-Печорская плита: 19 – кряжи, антиклинали, 20 – выходы на поверхность складчатого основания, 21 – синеклизы, впадины, прогибы; 22 – Скифско-Туранская плита; 23 – зона перехода складчатых структур в платформенные, 24 – Складчатый Донбасс; 25–33 – ренийсодержащие рудные формации (красным цветом показано содержание рения, г/т): 25 – ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; 26 – горючих сланцев; 27 – каменноугольная; 28 – фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом; 29 – медистых песчаников и сланцев; 30 – урановая терригенная палеодолин; 31 – урановая в угленосных отложениях; 32 – молибденовая в пестроцветных отложениях; 33 – битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная; 34 – битумы и тяжелые нефти с Re (содержание, г/т); 35–39 – специализированные и потенциально специализированные на рений породы и руды: 35 – угли; 36 – горючие сланцы; 37 – битуминозные сланцы; 38 – костный детрит; 39 – меденосные площади в пермских отложениях и их названия; 40–50 – перспективные на Re месторождения и проявления ряда полезных ископаемых (уран, горючие сланцы, редкие металлы и др.): 40 – месторождения и проявления урана в вендских отложениях, в основании осадочного чехла; 41 – урановые (уран-молибденовые) проявления и месторождения в битуминозных сланцах; 42 – месторождения горючих сланцев; 43 – проявления урана в угленосных отложениях; 44 – месторождения урана палеодолинного типа, 45 – проявления урана палеодолинного типа; 46 – уран-битумные месторождения и проявления; 47 – уран-молибденовые и урановые проявления в угленосных отложениях; 48 – уран-молибденовые проявления в песчано-глинистых отложениях; 49 – проявления медистых песчаников и сланцев; 50 – проявление платиноидов в углистых алевролитах и аргиллитах; 51 – ПРМО: ИЖ – Ижорская, СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Манычская; 53 – ПРР: Л – Лужский, Б – Бельский, Т – Тульский, Ск – Скопинский, Бр – Баятинский, Вк – Верхнекамский, Во – Вятско-Оренбургский, Вл – Волжский, И – Иргизский, С – Сысольский, Ди – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский, П – Печорский, Кл – Калининградский, Яр – Яренский.

Содержание Re в диктионемовых сланцах на территории Ленинградской области составляет от 0,05 до 3,6 г/т, а среднее значение составляет 0,12 г/т [Вялов, Миронов, Нежинский, 2010; Вялов и др., 2013; Вялов, Ларичев, Балахонова, 2013; Балахонова и др., 2013; Балахонова, 2014; Михайлов и др., 2015; Енгальчев, 2019г; Панова и др., 2024], а на территории Эстонии содержания Re составляют 0,11 г/т [Наумов, 2006], а по другим данным – от < 0,02 до 0,119 г/т [Батулин, Ильин, 2013].

Верхневендский уровень приурочен к базальным песчано-глинистым отложениям редкинского горизонта верхнего венда (V_{2rd}) и, частично, в коре выветривания по кристаллическим породам фундамента (AR–PR₁). Здесь вблизи предвендской поверхности несогласия, в основании осадочного чехла на глубине 250–400 м установлено три месторождения урана (Рябиновское, Ратницкое, Славянское), ряд проявлений (Приладожское, Долгое, Мгинское, Сарьинское, скв. 8) и пунктов урановой минерализации [Грушевой, Оношко, Наумов, 1996; Иванова, Грушевой, 2010; Кушнеренко, 2011; ГГК О-35, 36..., 2010].

Основная масса уранового оруденения относится к бедным рудам (среднее содержание урана 0,03 %). Урановые минералы представлены настураном, урановыми чернями, коффинитом. Сопутствующая рудная минерализация включает пирит, галенит, реже марказит, сфалерит, халькопирит и молибденит. Элементы-спутники уранового оруденения (г/т) – Pb (до 5000), Mo (до 1500), Cu (до 400), Ag (до 1). Ресурсы урана составляют 520,5 тыс. т [Кушнеренко, 2004]. Наличие в составе урановых руд элементов-спутников рения – Mo, Cu, Ag, а также обогащенности рудоносной пачки органическим веществом позволяет предполагать обнаружение повышенных концентраций Re в составе руд.

Верхнеордовикский уровень приурочен к горючим сланцев-кукерситов Прибалтийского сланцевого бассейна. Они распространены широким полем в западной части Ленинградской, на севере Псковской и Новгородской областей и прослеживаются в западном направлении на территорию Эстонии [Геология СССР, 1971; Клер, Ненахова, 1981; Строение сланценосной толщи ... , 1986].

Содержания рения в сланцах-кукерситах низкие от 0,0032 до 0,024 г/т (среднее 0,0086 г/т), однако, при условии освоения сланцев-кукерситов как технологического сырья существует вероятность концентрации рения в углеводородных продуктах химико-технологической переработки сланцев, что открывает возможности для его попутного извлечения.

Нижнекаменноугольный уровень связан с угленосными песчано-глинистыми отложениями нижнего карбона, расположенными в полосе Карбонового глинта восточнее г. Тихвин в Ленинградской области. Здесь в боксит-угленосных отложениях, залегающих на

размытой поверхности верхнего девона, установлено несколько проявлений (Мягозерское, скв. 1382, Житненское) и 20 пунктов урановой минерализации [ГГК О-36, 36..., 2010].

В скважинах 12 и 16 (скв. 12, дер. Паньково; скв. 16, дер. Рудная горка), пробуренных в рамках работ по ГДП-200 на листах О-36-IV, О-36-X (ПГО «Севзапгеология») автором были установлены повышенные концентрации Re в отложениях тихвинской свиты нижнего карбона. В углистых глинах с сульфидной минерализацией содержание рения составляет от 0,0087 до 0,027 г/т (среднее 0,017 г/т), а в углях – от 0,12 до 1,93 г/т (среднее 1,02 г/т). В породах рений ассоциирует с U, Se, Cu, Co, Ni, Bi, Tl, Ag, As, Sb, Ge. Объект относится к ренийсодержащей формации - урановая в угленосных отложениях, типовые объекты которой установлены в южной части Подмосковского бассейна.

Основные перспективы Ижорской ПРМО связаны с Лужским ПРР, на территории которого развиты диктионемовые сланцы нижнего ордовика. Металлогенический потенциал рения Ижорской ПРМО оценен в 3500 т.

Лужский ПРР располагается в западной части Ижорской ПРМО на территории западной части Ленинградской, Псковской области и в Северной Эстонии (Рисунок 5.5). Площадь района 73,46 тыс. км².

Положение данного ПРР определяется развитием диктионемовых сланцев, а также областью распространения горючих сланцев-кукерситов. В северо-восточной части района в Южном Приладожье в подошве чехла и в породах кристаллического фундамента располагаются перспективные на рений урановые месторождения (Рябиновское, Ратницкое, Славянское) и проявления (Рисунок 5.5). С толщей диктионемовых сланцев связаны месторождения урана Котловское, Куммолдовское, Гостилицкое и Красносельское.

По данным геологоразведочных работ, на Кайболово-Гостилицкой площади, в западной части Ленинградской области определены ресурсы Re в диктионемовых сланцах по категории $P_2 + P_1 = 274$ т, участок детализации по кат. $P_1 = 18$ т. Расчет выполнен в целом по пласту диктионемовых сланцев по методике Быховера–Коннова с использованием поправочного коэффициента 0,5. Среднее содержание Re в диктионемовых сланцах составляет 0,12 г/т [Вялов и др., 2013].

Металлогенический потенциал рения Лужского ПРР оценен в 3000 т.

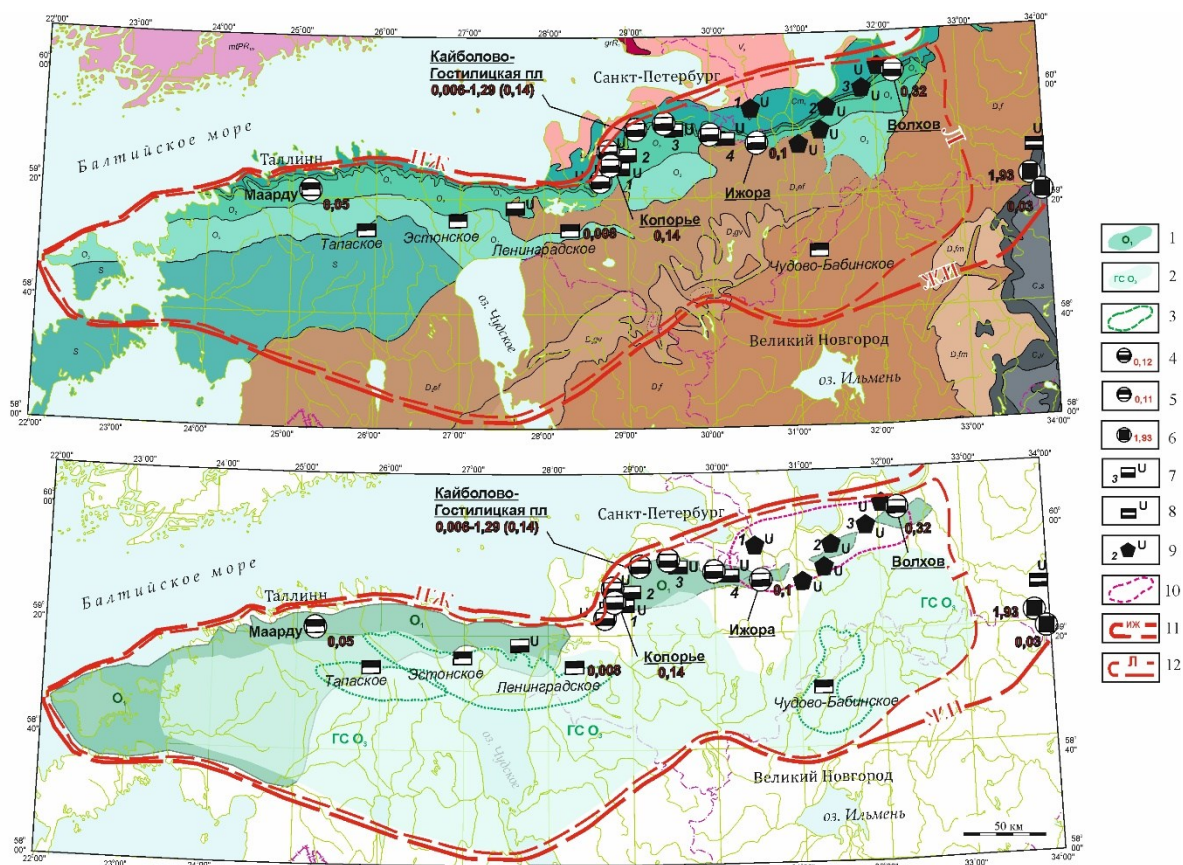


Рисунок 5.5. Геологическая карта (вверху) и прогнозно-металлогеническая схема (внизу) Лужского ПРР

1 – область распространения диктионемовых сланцев нижнего ордовика; 2 – область распространения горючих сланцев-кукерситов верхнего ордовика; 3 – контуры месторождений горючих сланцев-кукерситов; 4-6 - ренийсодержащие рудные формации (красным цветом показано содержание рения, г/т): 4 – ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; 5 - горючих сланцев; 6 – урановая в угленосных; 7–8 - месторождения и проявления урана: 7 – месторождения урана в диктионемовых сланцах (1 – Котловское, 2 – Куммоловское, 3 – Гостилицкое, 4 – Красносельское); 8 – проявления урана в угленосных отложениях; 9 - месторождения и проявления в венде (1 – Славянское, 2 – Рябиновское, 3 – Ратницкое) и проявления (без подписи номера); 10 – область распространения специализированных на уран объектов в базальных песчаниках венда (V_2) и коре выветривания фундамента; 11 – Ижорская ПРМО; 12 – Лужский ПРР.

5.3. Среднерусская потенциально ренийносная минерагеническая область

В административном отношении она располагается в пределах Новгородской, Тверской, Вологодской, Псковской, Смоленской, Тульской, Московской, Костромской, Калужской, Рязанской, Ивановской, Ярославской, Владимирской и Нижегородской областей. Ее площадь составляет 449,11 тыс. км².

В южной части данной области располагаются Бельский ПРР, Барятинский ПРР, Тульский ПРР и Скопинский ПРР.

Область приурочена к Московской синеклизе (Рисунок 5.6). В кристаллическом фундаменте располагается зона сочленения нескольких разновозрастных блоков:

Фенноскандии, Волго-Уралии и Сарматии, а также южной части Среднерусского пояса, разделяющего Фенноскандию и Волго-Уралию [Bogdanova, Gorbachev, Garetsky, 2005]. Пространственно к зоне сочленения блоков фундамента тяготеют крупные авлакогены: Крестцовский, Солигаличский, Пачелмский и Подмосковский [Геология ... , 2006]. Кроме того, рельеф фундамента осложнен рядом сводов (Пестовский, Нелидово-Торжокский и Ярославско-Галичский), а также Рыбинско-Сухонским инверсионным мегавалом.

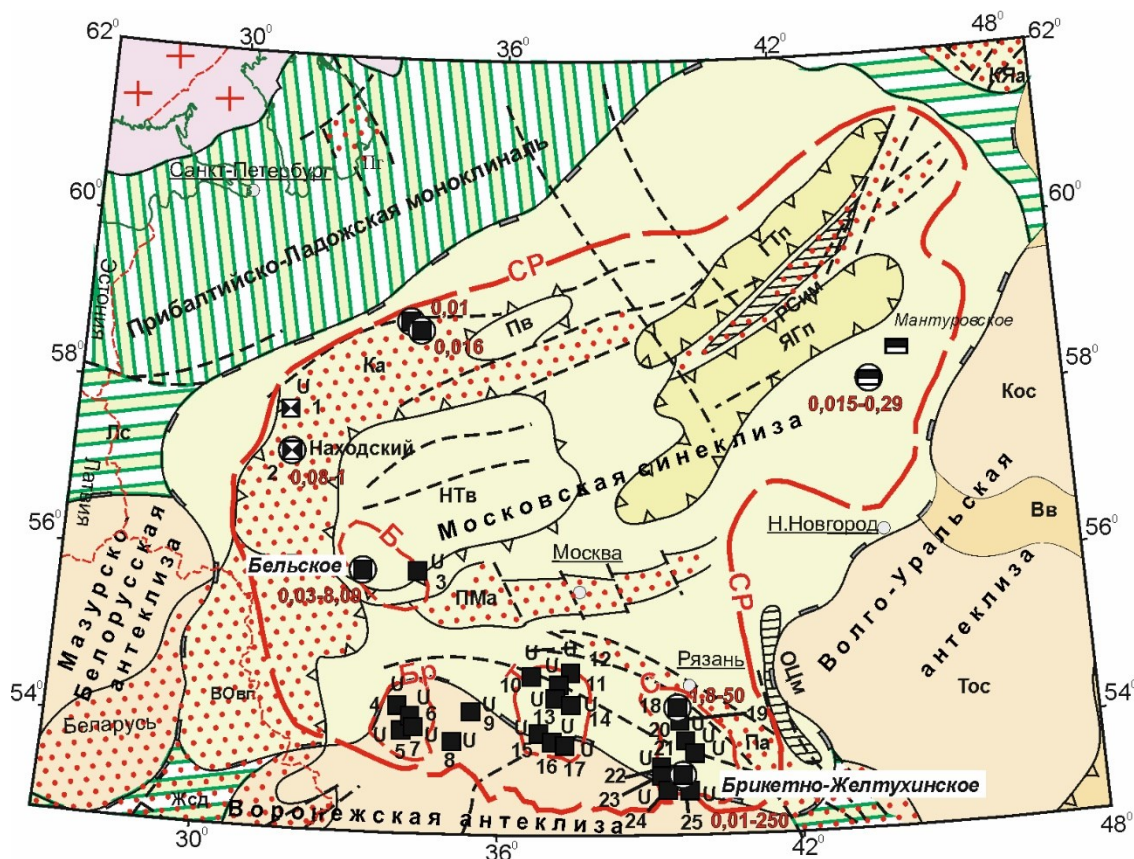


Рисунок 5.6. Тектоническая схема Среднерусской потенциально рениеносной области
Условные обозначения на рисунке 5.4. Номера Mo-U и Re-Mo-U проявлений: 1 – Ловатское, 2 – Находский пункт минерализации, 3 – Сычевское, 4 – Чипляевское, 5 – Кировское, 6 – Студеновское, 7 – Будское, 8 – Шлиповское, 9 – Бабынинское, 10 – Северо-Окское, 11 – Нечаевское, 12 – Пуцинское, 13 – Казначеевское, 14 – Лаптевское, 15 – Веригинское, 16 – Труфаново-Воскресенское, 17 – Западно-Щекинское, 18 – Северо-Алексеевское, 19 – Рязанское, 20 – Юраковское, 21 – Волковское, 22 – Вослебовское, 23 – Западно-Скопинское, 24 – Восточно-Вердинское, 25 – Южно-Скопинское.

Осадочный чехол данной области характеризуется комплексной рудоносностью: бурые угли (визе), соли на двух уровнях разреза (девон, пермь), целестин (верхний девон), горючие сланцы (верхняя юра), ратовкит, рассыпное золото (в четвертичных образованиях). На Даниловской площади установлены проявления углеводородов. Для области характерно развитие термальных, что, несомненно, влияет на интенсивность перераспределения подвижных компонентов на нижних уровнях осадочного чехла.

Основным ренийсодержащим уровнем области являются нижнекаменноугольный уровень, связанный с песчано-глинистыми боксит-угленосными отложениями бобриковского и тульского горизонтов визейского яруса нижнего карбона. В качестве потенциально ренийносных уровней рассматриваются: нижнеордовикский, верхнедевонский, средне-верхнеюрский уровень.

Нижнекаменноугольный уровень. Он приурочен к угленосным отложениям, которые с размывом залегают на породах верхнего девона (фамен), а в более южных районах – на отложениях нижнего карбона. Он залегает на интенсивно расчлененной поверхности «известнякового фундамента» (черепетский или упинский горизонты турне), осложненной системой эрозионных врезов глубиной в десятки метров, при протяженности – десятки километров. Каркас таких эрозионных врезов унаследовала визейская аллювиальная система, включающая палео-Оку, Скопинскую, Сафоно-Барятинскую и Рязанско-Саратовскую палеореки.

К породам нижнекаменноугольного уровня приурочено Re-Mo-U Бельское и Брикетно-Желтухинское месторождения, несколько проявлений. Потенциально перспективными на рений можно считать многочисленные урановые (молибден-урановые) проявления, приуроченные к отложениям палеодолин в угленосной толще нижнего карбона в южной части Среднерусской ПРМО. В настоящее время они не опробованы на рений.

Нижнеордовикский уровень связан с диктионемовыми сланцами нижнего ордовика, установленными в Валдайской, Крестцовской, Пестовской, Порховской и других глубоких скважинах на территории Новгородской, Вологодской и Ярославской областей [Геология СССР, 1971]. Толща диктионемовых сланцев состоит из переслаивания собственно углеродистых сланцев, прослоев песчаников и алевролитов. Мощность этой толщи в Пестовской скважине – 19 м (инт. 1204–1223 м), а в Валдайской – 5 м (инт. 1077–1072 м). Наличие рения (0,1–0,2 г/т) в одновозрастных диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна в Эстонии и в Ленинградской области (Ижорская ПРМО) позволяет полагать, что близкие содержания Re могут быть установлены на этом уровне в северной части Среднерусской ПРМО. Участки распространения диктионемовых сланцев в пределах данной области размещаются не хаотично, а приурочены к Крестцовскому авлакогену.

Верхнедевонский уровень связан с проявлениями в пестроцветных отложениях верхнего девона (ренийсодержащая формация молибденовая в пестроцветных отложениях). В Холмской районе Новгородской области выявлен Находский пункт Re-Mo-U минерализации, приуроченный к породам куньинской свиты верхов франского яруса верхнего девона [Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018]. В породах рудного интервала

наравне с высокими содержаниями U (до 0,5 %), Mo (до 1 %), Re (до 1 г/т) также установлены высокие содержания V, Ni, Ag и Pb.

В качестве неполного местного аналога данного типа оруденения можно рассматривать Ловатское Mo-U проявление (пока не изучено на Re) Старорусского района, расположенное в низовьях р. Ловать [Енгальчев, 2012б]. На нем оруденение также локализовано в пестроцветных отложениях верхнего девона и расположено над бортовой зоной Крестцовского авлакогена.

Средне-верхнеюрский уровень приурочен к углеродистым сланцам и битуминозным глинам верхнеюрского Костромского сланценосного района, расположенного в северо-восточной части области. Здесь находится среднее по масштабу Мантуровское месторождение горючих сланцев. Количество пластов горючих сланцев – от 2–3 до 11–12. Большая часть слоев имеет некондиционную (< 0,5 м) мощность. Глубина залегания сланцев 30–50 м. Запасы составляют (тыс. т) по категориям А + В + С₁ – 6148; С₂ – 36 230; забалансовые – 5837 [ГГК, О-37 ... , 2000]. В сланцах выявлены содержания Re до 0,29 г/т, при этом в них также фиксируется высокое содержание Se (15,5 г/т), V (238 г/т), Ni (379 г/т) и Cd (6,1 г/т).

По данным ИМГРЭ, прогнозные ресурсы рения Подмосковного бассейна составляют (т): кат.Р₁ – 40, кат.Р₂ – 1335, кат.Р₃ – 2500 [Трач, Бескин, 2011]. По авторским данным, металлогенический потенциал рения Среднерусской ПРМО оценивается в 3000 т, а входящие в его состав районы оцениваются следующим образом: Бельский ПРР – 400 т, Барятинский ПРР – 400 т, Тульский ПРР – 1000 т, Скопинский ПРР – 1200 т.

Бельский ПРР. В административном отношении он находится на юге-западе Тверской и северо-востоке Смоленской областей, юго-западнее г. Ржев. Площадь района составляет около 6716 км².

В геолого-структурном отношении район располагается в юго-западной части Московской синеклизы, на склоне Нелодово-Торжокского свода в пределах восточного плеча Крестцовского авлакогена (Рисунок 5.6).

В данном районе установлены Бельское малое Re-Mo-U месторождение и Mo-U Сычевское проявление, которые приурочены к аллювиальным палеодолинам нижнего карбона (тульский и бобриковский горизонты)

Мощность рениеворудных интервалов на Бельском месторождении составляет 2–19 м, при содержаниях Re 0,3–5,7 г/т (в одной пробе установлено содержание Re 30 г/т), средневзвешенное содержание 1,05 г/т. Несмотря на относительно невысокие содержания, продуктивность этих интервалов, в виду большой мощности, довольно высокая – до 26,22 мг/т. Максимальная концентрация Re приурочена к пескам, насыщенным углистым

детритом и дисульфидами железа, в меньшей степени – к углистым глинам, углям и зонам ритмично переслаивающихся алеврит-глинистых пород. В углях содержание Re колеблется от 0,07 до 10 г/т. По данным Урангео прогнозные ресурсы Re территории Бельского месторождения по кат. P₂ составляют 255–300 т.

По авторским данным, металлогенический потенциал рения Бельского ПРР составляет 400 т.

Скопинский ПРР. Он располагается в пределах Рязанской, Липецкой, Тамбовской и Московской областей. Площадь района 10,58 тыс. км².

В геолого-структурном отношении район приурочен к области сочленения южного борта Московской синеклизы и северной части Воронежской антеклизы (Рисунок 5.6).

Re-Mo-U оруденение приурочено к палеодолинам раннекаменноугольного возраста. Региональной рудовмещающей структурой, контролирующей положение Скопинского ПРР и Тульского ПРР, является долина палео-Оки. Наиболее значимым объектом района является Re-Mo-U Брикетно-Желтухинское месторождение, однако, севернее последнего располагается Северо-Алексеевское Re-Mo-U проявление.

Месторождение расположено в Скопинском районе Рязанской области. В 2013–2015 гг. на БМЖ были проведены оценочные работы ИМГРЭ, выполнен подсчет запасов Re, апробированы технологии его извлечения методом СПВ [Карась и др., 2016; 2017].

Рений-молибден-урановое оруденение сосредоточено в породах бобриковского и тульского надгоризонтов имеющих мощность 35–40 м. Рудовмещающие породы залегают на глинисто-карбонатных породах «известнякового фундамента» (D₃–C₁) и перекрыты песчано-глинистыми отложениями юры и неогена мощностью 20–50 м. Месторождение приурочено к углублению Скопинской палеодолины – «Рясскому рву».

Тела с рениевой минерализации оконтурены по $C_{\text{борт}} = 0,5$ г/т. Они имеют вертикальный размах от 3,5 до 21,6 м (в среднем 14,3 м) и частично захватывают ореолы как молибденовой, так и урановой минерализации.

Содержания Re в пробах внутри выделенных интервалов 0,3–150 г/т, в единичных случаях – более. Средневзвешенные содержания по скважинам в проницаемых породах 0,5–45 г/т, в среднем 3,05 г/т, продуктивность – 0,059 кг/м². Максимальные содержания рения фиксируются в разнозернистых (преимущественно средне-крупнозернистых с примесью гравийных зерен) черноцветных песках базальных частей ритмопачек.

Интервалы с максимальными концентрациями рения, урана и молибдена пространственно сближены, однако Re обнаруживает высокие концентрации (> 0,5 г/т) еще и там, где практически отсутствуют U и Mo.

На основе принятых временных кондиций запасы рения по кат. С₂ на Брикетно-Желтухинском месторождении составили 23 т, при этом месторождение имеет перспективы увеличения запасов Re на флангах и на глубину [Карась и др., 2016]. Прогнозные ресурсы рения Брикетно-Желтухинского месторождения оценены по категориям Р₁ и Р₂ в объеме 40 и 300 т соответственно [Трач, Бескин, 2011].

В 70 км к северу от Брикетно-Желтухинского месторождения известно Северо-Алексеевское Re-Mo-U проявление, также приуроченное к угленосным отложениям. Средневзвешенное содержание Re в ореоле – 1,8 г/т. В отдельных пробах концентрации рения достигают 30–50 г/т, что сопоставимо с богатыми рениевыми рудами БЖМ.

По авторским данным, металлогенический потенциал рения района составляет 1200 т.

Тульский ПРР. Располагается на территории Тульской и Калужской областей. Его площадь составляет 8240 км². Геолого-структурное положение Тульского ПРР имеет много общего со Скопинским ПРР: как и последний он приурочен к южному борту Московской синеклизы и в юго-восточной части Подмосковного бурогоугольного бассейна (Рисунок 5.6).

Район пересекают несколько линейных зон северо-западного и северо-восточного простирания, что в сочетании с наличием разветвленной системы раннекаменноугольных палеодолин, указывает на повышенную трещиноватость палеозойских пород района, и соответственно на благоприятные условия для миграции флюидов (потенциально рудоносных) в осадочной толще, которые могут являться носителями Re и других редких элементов.

В качестве перспективных на Re рассматриваются молибден-урановые проявления, приуроченные к отложениям палеодолин в угленосной толще нижнего карбона: Чипляевское, Кировское, Студеновское, Будское, Шлиповское, Бабынинское, Северо-Окское, Нечаевское, Пущинское, Казначеевское, Лаптевское, Веригинское, Труфаново-Воскресенское, Западно-Щекинское (Рисунок 5.6), не опробованы на рений [ГК N-37, 2015].

Труфаново-Воскресенское Мо-U проявление приурочено к депрессии в «известняковом фундаменте» (D₃-C₁), выполненной углисто-песчано-глинистыми отложениями бобриковской, тульской свит визейского яруса нижнего карбона, к которым приурочено перспективное на рений Мо-U оруденение. Содержание урана в тульских отложениях – 0,005–0,036 %, в бобриковских – 0,005–0,035 %. Мощности рудных прослоев – от 0,5 до 2,0 м. Глубина оруденения – от 18 до 125 м. Рудные залежи не оконтурены.

Западно-Щекинское Мо-U проявление расположено в песчано-глинистых угленосных отложениях бобриковской и тульской свит, залегающих на неровной закарстованной поверхности «известнякового фундамента». Молибден-урановое оруденение, перспективное на рений, связано с углистыми глинами и углями и расположено по периферии

промышленного контура угольной залежи. Мощность линзовидных рудных залежей – от 0,5 до 2,7 м (средняя 0,9 м). Содержание урана колеблется от 0,01 до 0,047 % (среднее 0,019 %). Глубина оруденения – от 10 до 50–60 м.

По аналогии со Скопинским ПРР здесь высока вероятность выявления Re-Mo-U оруденения в угленосных отложениях нижнего карбона (ренийсодержащая формация урановая в угленосных отложениях). Требуется проведение специализированных на рений работ. По авторским данным, металлогенический потенциал рения района составляет 1000 т.

Барятинский ПРР. Он располагается на территории Тульской и Смоленской областей. Его площадь составляет 5350 км². В геолого-структурном отношении район размещается в северной части Воронежской антеклизы, граничащей с южным бортом Московской синеклизы (Рисунок 5.6). Положение района контролирует Сафоново-Барятинская палеорека (нижний карбон), имеющая субмеридиональное направление. В ее верховьях установлен Бельский ПРР и одноименное Re-Mo-U месторождение, а в низовьях располагается Барятинский ПРР. В отложениях Сафоново-Барятинская аллювиальной палеосистемы в пределах района установлено четыре Mo-U проявления (Чипляевское, Кировское, Студеновское, Будское) пока не исследованных на рений.

Основные перспективы района на рений связаны с аллювиальными (на некоторых участках слабоугленосными) отложениями нижнего карбона, содержащими ряд Mo-U проявлений, пока не изученных на Re.

Металлогенический потенциал района на рений оценивается в 400 т.

5.4. Волго-Уральская потенциально ренийносная минерагеническая область

Она выделена в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы. Площадь области составляет 670,16 тыс. км². В ее состав входят Сысольский, Верхнекамский, Вятско-Оренбургский, Волжский и Иргизский ПРР.

Волго-Уральская ПРМО находится преимущественно на территории Волго-Уральской антеклизы. На ее территории в докембрийском кристаллическом фундаменте выделяется несколько блоков – Средневожский, Кажимо-Самарский, Камско-Уфимский. Фундамент осложнен Калтасинским и Сергиево-Абдулинским авлакогеном.

В строении чехла выделяется несколько крупных сводов: Татарский (Северо-Татарский и Южно-Татарский), Жигулевско-Оренбургский, Пермско-Башкирский, Камский и Коми-Пермятский, Оренбургский, Соль-Илецкий (Рисунок 5.7), разделенных впадинами и прогибами, которые осложнены многочисленными локальными поднятиями. Разрез осадочного чехла представлен преимущественно континентальными, прибрежно-морскими и

морскими (терригенными и карбонатными) образованиями – рифей-вендского, девонского, каменноугольного и пермского возраста. Мощность осадочного чехла около 9–12 км.

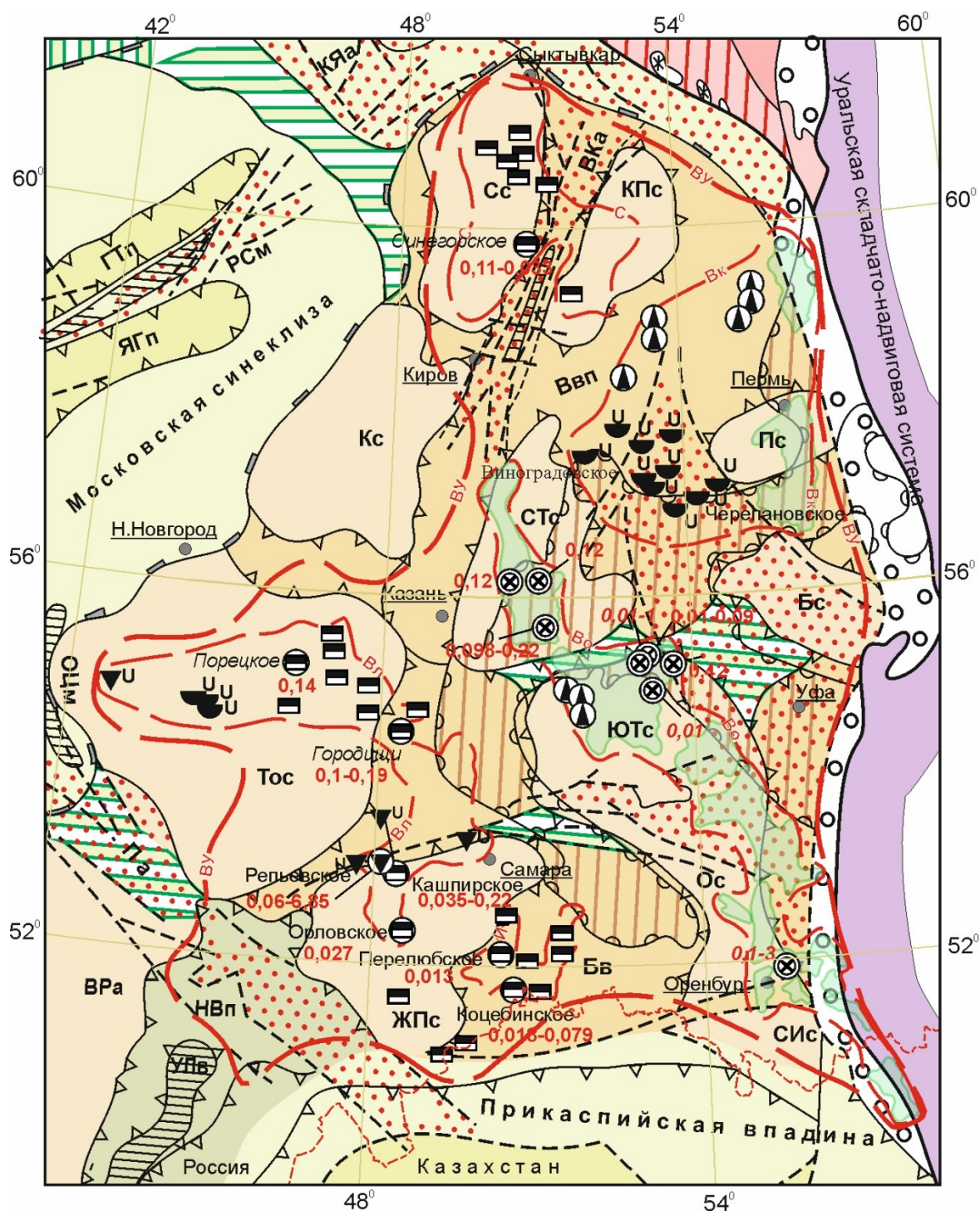


Рисунок 5.7. Тектоническая схема Волго-Уральской ПРМО
Условные обозначения на рисунке 5.4.

Территория Волго-Уральской ПРМО занимает большую часть Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, в пределах которой основными нефтегазоносными являются отложения девона, карбона и перми. В осадочном чехле известны месторождения битумов, медистых песчаников (пермь), горючих сланцев (верхняя юра, Волжский сланцевый бассейн

и Сысольский сланцевый район), урана, бентонита, цеолитов. В медистых песчаниках и сланцах перми выявлены повышенные содержания серебра, кадмия, ванадия, мышьяка, золота, платиноидов [Месхи, Чайкин, 2003; Чайкин и др. 2004; Геология ..., 2006]. Рассматриваемая область характеризуется развитием термальных вод [Карта топливно-энергетических ..., 2008].

Первые сведения о наличии Re в осадочном чехле региона приводятся в работе [Поплавко и др., 1977], посвященной оценке рениеносности пермских медистых песчаников. В литературе также имеются сведения о содержании рения в горючих сланцах Волжского сланцевого бассейна [Поплавко и др., 1974; Самойлов и др., 2015, 2017; Енгальчев, 2019г; Илясов, Староверов, Илясов, 2024] и в нефтях Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [Готтих, Писоцкий, Журавлев, 2008].

Сысольский ПРР. В административном отношении находится на территории юго-западной части Республики Коми, Кировской области и востоке Пермского края. Площадь района составляет 35 180 км².

Он приурочен к Вятско-Камской впадине, выполненной юрскими и меловыми терригенными отложениями (Рисунок 5.8). В геолого-структурном отношении район располагается на территории двух сводов Сысольского и Коми-Пермяцкого, которые разделены Вятско-Кажимским авлакогеном (Рисунок 5.7) [Геология ... , 2006; Удоратин, 2014].

Основные перспективы рениеносности данного района связаны с верхнеюрскими горючими сланцами Сысольского сланцевого района [Горючие ... , 1989; Карта ... , 2008]. Наиболее широкое развитие горючие сланцы имеют в северо-западной части района, расположенной в восточной части Сысольского свода. В пределах района располагается ряд месторождений горючих сланцев: Иогульское, Чухломское, Визингское, Вадыбское, Ибское, Пустышь-Кунибское, Вотчинское, Пыелдинское, Плауз, Карвужемское, Ужтинское, Кайгородское, Воктымское, Уривское, Калининского рудника, Синегорское и Воронье-Волоскинское. Два последних являются наиболее крупными. В Сысольском сланцевом районе выделены три площади, перспективные на горючие сланцы: Поингская, Восточная и Центральная. На севере и западе Поингской площади горючие сланцы залегают на глубинах не более 50 м, что делает возможным их открытую отработку. Сланцы Восточной площади залегают на значительных (до 150 м) глубинах.

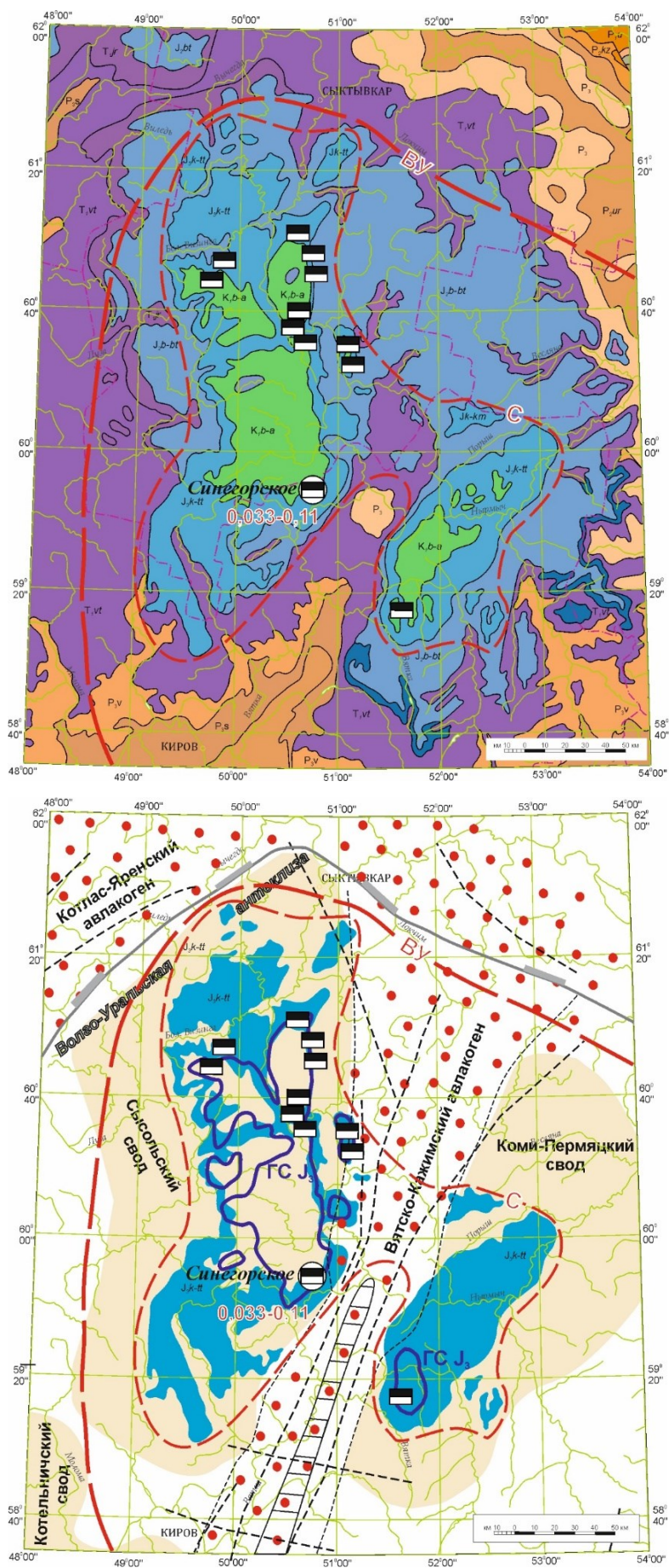


Рисунок 5.8. Геологическая карта и прогнозно-металлогеническая схема Сысоевского ПРР
Условные обозначения на Рисунке 5.4.

Суммарные ресурсы горючих сланцев Сысольского сланцевого района в пластах мощностью более 0,5 м и при теплоте сгорания более 1200 ккал/кг составляют по категориям $P_1 + P_2$ 41,4 млрд т, в том числе P_1 – 24,6, P_2 – 16,8 млрд т. Поингская площадь – оцененные запасы по кат. C_2 – 4,98 млрд т. Прогнозные ресурсы Восточной и Центральной площадей по категориям $P_1 + P_2$ составляют 19,6 млрд т.

Содержание Re в горючих сланцах Сысольского района составляет 0,11–0,033 г/т, в ассоциации с Se, Mo, U, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Ag.

Металлогенический потенциал рения данного района оценивается в размере 600 т.

Верхнекамский ПРР. В административном отношении район находится на территории Пермского края и Республики Башкортостан. Его площадь составляет 78 760 км².

В структуре осадочного чехла ПРР приурочен к Верхнекамской впадине, выполненная пермскими отложениями (Рисунок 5.9). В фундаменте южной части Верхнекамского ПРР располагается Катласинский рифейский авлакоген, который пересекает район в субмеридиональном направлении и контролирует пространственное размещение урановых объектов в осадочном чехле. В восточной части ПРР располагается Предуральский прогиб контролирующей положение меденосных площадей в пермских отложениях.

На территории района развиты пермские отложения, нижняя часть которых сложена карбонатно-терригенными, а верхняя – терригенными отложениями. Под ними залегают морские терригенно-карбонатные отложения карбона, которые в свою очередь перекрывают девонские отложения, которые залегают на венд-рифейских отложениях или кристаллическом фундаменте.

Рельеф поверхности фундамента района имеет сложное глыбовое строение, обусловленное пересекающимися системами долгоживущих глубинных разломов. В верхней части осадочного чехла зоны глубинных разломов выражены флексурами и кулисообразно располагающимися локальными поднятиями, образующими системы валов (дислокаций) различных направлений. Большинство локальных поднятий развивались унаследовано на протяжении девонского, каменноугольного и пермского периодов. Окончательное формирование тектонического плана территории связано с молодыми (неоген-четвертичными) положительными движениями значительной амплитудой (до 300 м).

На рений район практически не изучен, однако, в качестве перспективных на рений можно рассматривать: верхнедевонские доманикиты; нижнепермские медистые песчаники и сланцы; урановые месторождения и проявления палеодолинного типа в отложениях средней-верхней перми; нефтяные месторождения.

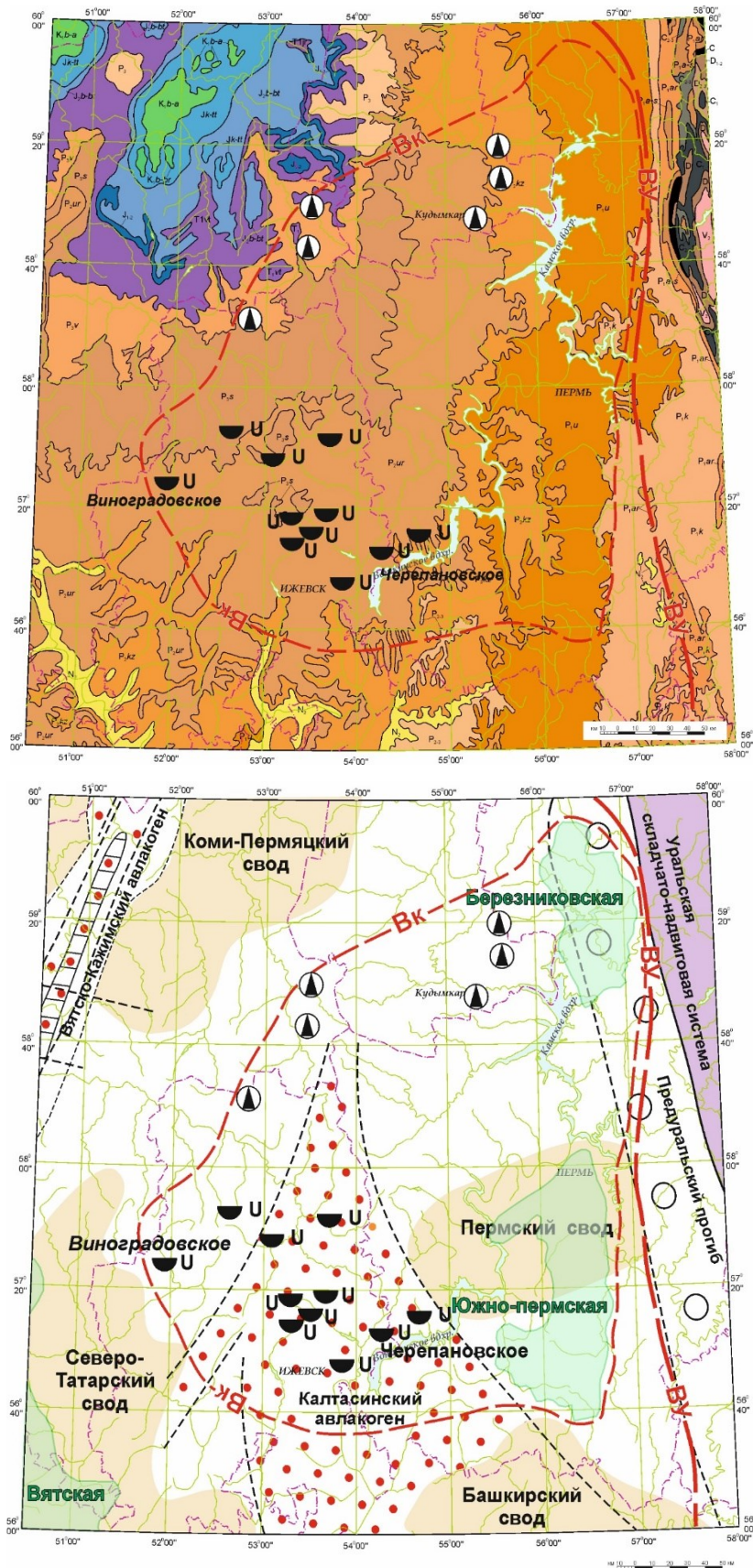


Рисунок 5.9. Геологическая карта и прогнозно-металлогеническая схема Верхнекамского ПРР.
Условные обозначения на рисунке 5.4.

По данным [Поплавко и др., 1974] в составе верхнедевонских доманикитов развитых на территории Республики Коми, содержание Re составляет $< 0,05\text{--}0,15$ г/т. Допуская их сходство, с доманикитами, развитыми на территории района, можно полагать, что в них могут быть установлены содержания близкие Re.

В северо-восточной части района, в пределах Березниковской и Южнопермской меденосной площади, располагаются меденосные отложения уфимского яруса нижней перми (приуральский отдел). В литературе их часто рассматривают совместно как единую зону субмеридионального простирания, именуемую «меденосная зона Пермского Приуралья» [Наркелюн и др., 1983]. В геолого-структурном отношении эта зона приурочена к границе Предуральского краевого прогиба и восточной периферии Русской плиты. Меденосные площади располагаются над сводами фундамента, их выступами и склонами вдоль зон долгоживущих глубинных разломов, ограничивающих докембрийские рифтогенные структуры (Калтасинский авлакоген и Пермский свод контролируют размещение Южно-Пермской меденосной площади, а также над зонами крупных разломов, ограничивающих наиболее прогнутую часть осадочного бассейна, прилегающую к Уральскому орогену.

Рудовмещающими являются отложения уфимского яруса перми (приуральский отдел), среди которых выделяются соликамский и шешминский меденосные горизонты.

Меденосные отложения соликамского горизонта приурочены к зоне чередования красноцветных и сероцветных фаций, расположенных в непосредственной близости от Уральской складчатой области, а рудоносные образования шешминского горизонта, вытянутые в виде узкой субмеридиональной полосы, приурочены к красноцветным песчано-глинистым осадкам русел рек, дельт и заливов в обширных внутренних бассейнах, которые формировались во внутриконтинентальном мелководном бассейне. Оруденение сосредоточено в сероцветных отложениях, залегающих среди красноцветов. В медных рудах установлены повышенные содержания ряда элементов-примесей: V, Sc, Ge, Se, Te, Ni, Co, Tl, Re [Наркелюн и др., 1983]. В отвалах старых медных рудников на Южно-Пермской площади в пробах кроме меди (1–1,7 %), были установлены повышенные содержания Au (0,2–0,4 г/т), Ag (4,4–14,4 г/т), Ni (до 0,015 %), Mo (до 50 г/т), V (до 30 г/т) и U (до 21 г/т) [Халезов, 2011].

Рениеносность меденосных отложений Верхнекамского ПРР изучена очень слабо, однако, сочетание ряда благоприятных факторов: близость Уральской складчатой системы (источника рудного вещества, где рений установлен в составе медно-порфировых месторождений региона [Грабежев, 2013]); наличие разнообразных геолого-структурных обстановок в пределах ПРР; рениеносность нефтей региона [Минерагенический потенциал..., 2008]; нарушенность осадочного чехла и фундамента разрывными нарушениями (по которым возможна вертикальная миграция флюидов, создавая в осадочном

чехле геохимические барьеры, которые потенциально могут контролировать размещение оруденения).

На юго-западе Верхнекамского ПРР располагается группа урановых месторождений (Виноградовское, Черепеновское) и проявления палеодолинного типа в отложениях средней–верхней перми (Рисунок 5.8) [Халезов, 1997б]. Все объекты приурочены к внутриформационным палеорулам казанского и уржумского ярусов средней перми, врезанным в красноцветные алевро-глинистые отложения. В урановых рудах отмечаются повышенные содержания (%): Мо – до 0,2, Cu, Pb – до 0,01–0,03, Sc – до 0,01, Y – до 0,03, As – до 0,003 [Халезов, 1997б].

Урановые объекты Верхнекамского ПРР не исследовались на рений, однако, могут рассматриваться в качестве перспективных в связи с накоплением Re в объектах сходного генезиса. В пользу последнего также указывает наличие повышенных концентраций молибдена в рудах (до 0,2 %) и наличие ильземаннита, который часто содержит примесь Re на эпигенетических объектах.

По данным [Минерагенический ... , 2008] рениевую специализацию имеют нефти Ильинского, Нефедовского, Золотаревского, Неждановского, Ромаршорского, Тукачевского месторождений, расположенных в северной части района (Рисунок 5.9).

Основные перспективы рениеносности Верхнекамского ПРР связаны с эпигенетическими урановыми месторождениями и проявления палеодолинного типа, расположенными в южной части района.

Металлогенический потенциал района на рений определен в 300 т.

Волжский ПРР. Он находится на территории Ульяновской, Самарской и Пензенской областей. Площадь района составляет 50 630 км².

В тектоническом отношении район расположен в северной части Токмовского свода, в западной части Мелекесской впадины и частично на северо-западном склоне Жигулевско-Пугачевского свода. В южной части района расположен субширотный Жигулевский вал (Рисунок 5.10). Осадочный чехол сложен верхнепалеозойским комплексом, который с несогласием перекрыт среднеюрскими отложениями.

В качестве перспективных на рений рассматриваются: верхнеюрские горючие сланцы (ренийсодержащая формация горючих сланцев); уран-битумные объекты Жигулевского вала (ренийсодержащая формация битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная).

Горючие сланцы Волжского сланцевого бассейна приурочены к толще средневожского подъяруса верхней юры [Месторождения горючих ... , 1988; Букина, 2013]. Площадь бассейна – около 350 тыс. км². В пределах Волжского ПРР располагается западная часть Волжского бассейна, приуроченная к слонам Токмовского и Жигулевско-Пугачевского сводов.

На северо-восточном склоне Токмовского свода известно более двух десятков месторождений горючих сланцев. Прогнозные ресурсы ГС этой части бассейна составляют первые сотни миллионов тонн.

В последние годы в горючих сланцах района были установлены содержания рения на Кашпирском месторождении - 0,035-0,22 г/т [Самойлов и др., 2015; 2017], в разрезе Городищи в Ульяновской области - до 0,148 г/т [Енгальчев, 2019в]; на Орловском месторождении - 0,027 г/т [Самойлов и др., 2015].

На территории Жигулёвского вала известен ряд уран-битумных проявлений и Репьевское месторождение (ренийсодержащая формация битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная) [Уран..., 2010]. Помимо урана в рудах данного месторождения установлены повышенные содержания никеля, молибдена – до 0,05 %, меди – 0,01 %, кобальта – 0,003 %, цинка – 0,1 %, мышьяка и свинца – 0,15 %, ванадия – 0,6 %, серебра – 0,0008 %. Уран коррелирует с Ni, Co, Y, Pb, As, Ag. Автором установлено наличие в составе руд Re до 6,85 г/т в ассоциации с V, Mo, Se.

В качестве потенциально рениеносных можно рассматривать также обогащенные органическим веществом глины и битуминозные сланцы средней–верхней юры и нижнего мела Волжского ПРР [Константиновский и др., 1996; Енгальчев, 2019в,г; ГГК N-38..., 2019]. В единичных пробах автором установлены содержания 0,013-0,14 г/т. Однако, пока материалов по содержанию в них Re недостаточно для их объективной оценки.

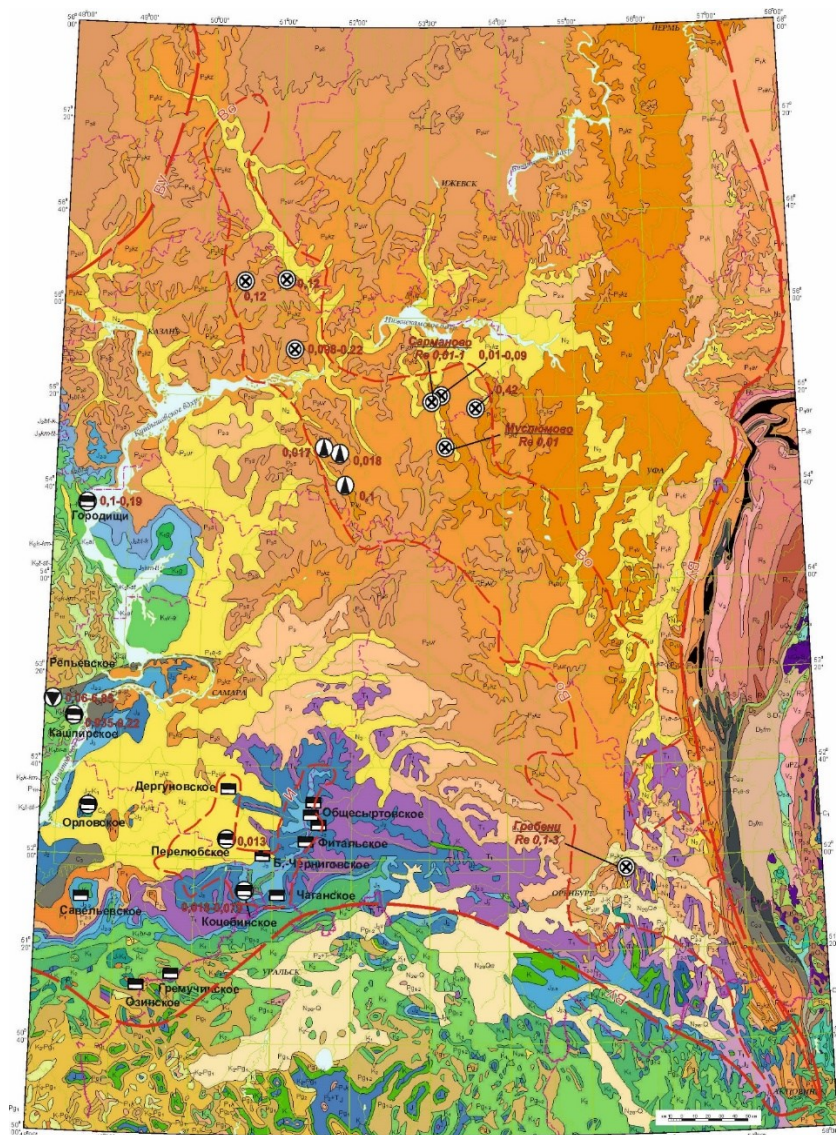
Потенциально перспективным на рений могут быть слабо изученное уран-битумное оруденение известное в центральной части Токмовского свода, приуроченное к трещиноватым, часто закарстованным, известнякам верхнего карбона (Княжевское и Криушинское урановые проявления) [ГК1000/3 N-38, 2019]. В ряде случаев над такими объектами располагаются юрские эрозионные палеодолины (верхней, реже средней юры), вмещающие урановое оруденение (палеодолинный тип), с которым ассоциируют скандий, редкие земли и золото [Казанский, 2000]. Типичными примерами являются Курлейское,

Покровское и Алексеевское урановые (с Sc, REE) проявления. Предполагается наличие рения как в составе уран-битумных объектов, так и в рудах палеодолинных объектов, в ассоциации с Se, Mo, Sc.

Основные перспективы района связаны с горючими сланцами волжского яруса верхней юры. Значительные запасы месторождений горючих сланцев и установленные в них содержания позволяют рассматривать их в качестве потенциального редкометалльного (Re, Se и др.) сырья.

Металлогенический потенциал рения определен в размере 1800 т.

Вятско-Оренбургский ПРР. Он располагается на территории Кировской области, Удмуртии, Татарстана, Башкирии и Оренбургской области. Площадь района 70 290 км². Он протягивается в юго-восточном направлении из среднего течения р. Вятка, через низовья Камы, далее в район рек Ик, Белая и Урал и далее на территорию Казахстана (Рисунок 5.11). Общая протяженность района составляет около 400 км, при ширине 50–70 км.



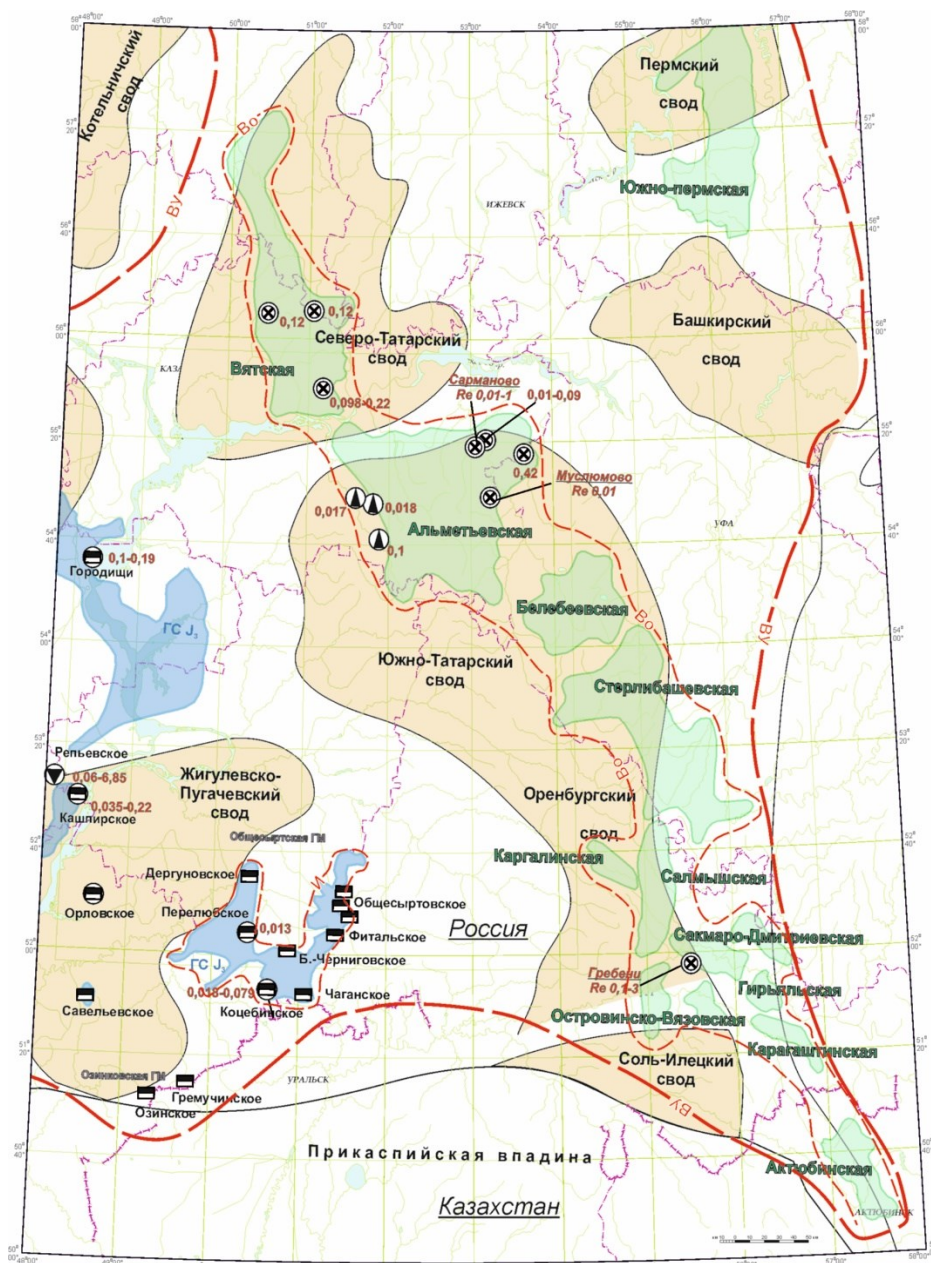


Рисунок 5.11. Геологическая карта и прогнозно-металлогеническая схема Вятско-Оренбургского ПРР и Иргизского ПРР.

Условные обозначения на рисунке 5.4.

В тектоническом отношении район приурочен к краевым зонам крупных сводов Волго-Уральской антеклизы – Северо-Татарскому, Южно-Татарскому, Оренбургскому и Соль-Илецкому (Рисунок 5.11).

На рений Вятско-Оренбургский ПРР изучен слабо, однако, в качестве перспективного выделяется верхнепермский уровень разреза, к которому приурочены медистые песчаники и сланцы (ренийсодержащая формация медистых песчаников и сланцев). Кроме того, рений установлен в составе высоковязких нефтей и битумов несколько нефтяных месторождений.

Стратиформное медное оруденение (медистые песчаники и сланцы) располагается на глубинах от 0 до 500 м [Лурье, 1988; Наркелюн и др., 1983; Демина, Тараборин, 2006; ГГК N-39, 2021]. В пределах Вятско-Оренбургского ПРР выделяется ряд меденосных площадей (Рисунок 5.11). В размещении меденосных площадей устанавливается определенная связь с крупными структурными элементами фундамента и локальными палеоструктурами позднепермского бассейна. Меденосные площади располагаются: а) над сводами фундамента, их выступами и склонами вдоль зон долгоживущих глубинных разломов, ограничивающих рифтогенные структуры (Калтасинский, Сергиевско-Абдулинский авлакоген); б) над зонами крупных разломов, ограничивающих наиболее прогнутую часть осадочного бассейна, прилегающую к Уральскому орогену.

Во всех случаях меденосные площади контролируются валлообразными поднятиями, фиксирующимися по опорным горизонтам пермских отложений, и отсутствуют над депрессиями. В пределах таких поднятий положение медного оруденения определяется брахиантиклинальными структурами низких порядков.

Содержание Re в медистых песчаниках и сланцах данного ПРР составляет от 0,007 до 0,42 г/т, а по данным предшественников – до 3 г/т (участок «Гребени»). Рений ассоциирует с Ag, Se, V, Mo, Cd и благородными металлами (Pt, Pd, Au).

Рений выявлен в высоковязких нефтях некоторых месторождений района (г/т): Лангуевское – 0,017, Ашальчинское – 0,018, Мордово-Кармальское – 0,1 [Торикова, Кудинов, Ключарев, 2005; Metallургия рения, 2007]. На Мордово-Кармальском месторождении тяжелых высокосернистых нефтей и природных битумов промышленно битуминозными являются отложения уфимского яруса верхней перми, представленные песками и песчаниками. Глубина залегания продуктивных отложений изменяется (60–170 м), толщина битумонасыщенного пласта достигает 22,6 м.

Наличие Re (0,017–0,1 г/т) в составе тяжелых нефтях ряда месторождений запада Южно-Татарского свода позволяет надеяться на положительную оценку других месторождений углеводородов на рений. Последнее особенно актуально в связи с размещением в пределах ПРР крупных месторождений нефти – Ромашкинское, Новоелховское, Туймазы, Бавлы, Шпаковское, Оренбургское и др.

Нельзя исключать, что попутные нефтяные воды на месторождениях углеводородов Волго-Уральской провинции и, к примеру, Южно-Татарского свода могут иметь рениевую специализацию. При этом извлечение Re может быть реализовано путем его осаждения на ионообменных смолах.

Металлогенический потенциал рения данного района оценивается в 900 т.

Иргизский ПРР. В административном отношении район расположен на территории Оренбургской, Самарской и Саратовской областей. Его площадь составляет – 7330 км². Район приурочен к Бузулукской впадине (Рисунок 5.11). В ее пределах располагаются крупные месторождения горючих сланцев Волжского сланцевого бассейна – Перелюб-Благодатовское, Коцебинское, Чаганское и месторождения Общесыртовской группы (Общесыртовское, Дергуновское, Торпано-Гришкинское) [ГГК N-38(39)..., 2000; Букина, 2013; ГГК М-39, 2021]. Мощность сланценовой толщи изменяется от 20–27 м на севере и востоке территории до 35–40 – на юге и 23–58 м на западе; в ее пределах выявлено до двух-пяти горизонтов, содержащих от 1 до 11 пластов горючих сланцев мощностью от 0,5 до 11–12 м глубиной залегания продуктивных сланценовых отложений соответственно 10–250 и 10–70 м. Запасы ГС Общесыртовского месторождения оцениваются в 0,8 млрд т, а ресурсы прилегающей области площадью 216,4 км² – 1,5 млрд т. Запасы Чаганского месторождения составляют 4,4 млрд т, Перелюбского – 3,75 млрд т, Коцюбинского – 4,1 млрд т.

Рений установлен в горючих сланцах Перелюбского (0,013 г/т) и Коцебинского (0,018–0,079 г/т) месторождения [Самойлов и др., 2015; Илясов, Староверов, Илясов, 2024].

Перспективы ПРР на рений связаны горючими сланцами. Содержания рения в сланцах невелики, но нельзя исключать возможность обнаружения участков, с повышенными содержаниями рения.

Минерагенический потенциал рения данного района определен в размере 600 т.

5.5. Донецко-Маньчская потенциально рениеносная минерагеническая область

Она протягивается с северо-запада на юго-восток из Днепровско-Донецкой впадины в Складчатый Донбасс и далее на территорию вала Карпинского (Рисунок 5.12). Есть основания полагать, что она продолжается и далее на юго-восток на Мангышлак. Зона приурочена к Доно-Мангышлакской складчатой системе, входящей в состав «линеамента Карпинского» [Панов, 1994].

В пределах Донецко-Маньчской ПРМО выделены Донецко-Шахтинский ПРР, расположенный на территории Складчатого Донбасса и частично Днепровско-Донецкой впадины, и Калмыкский ПРР, находящийся в центральной части вала Карпинского.

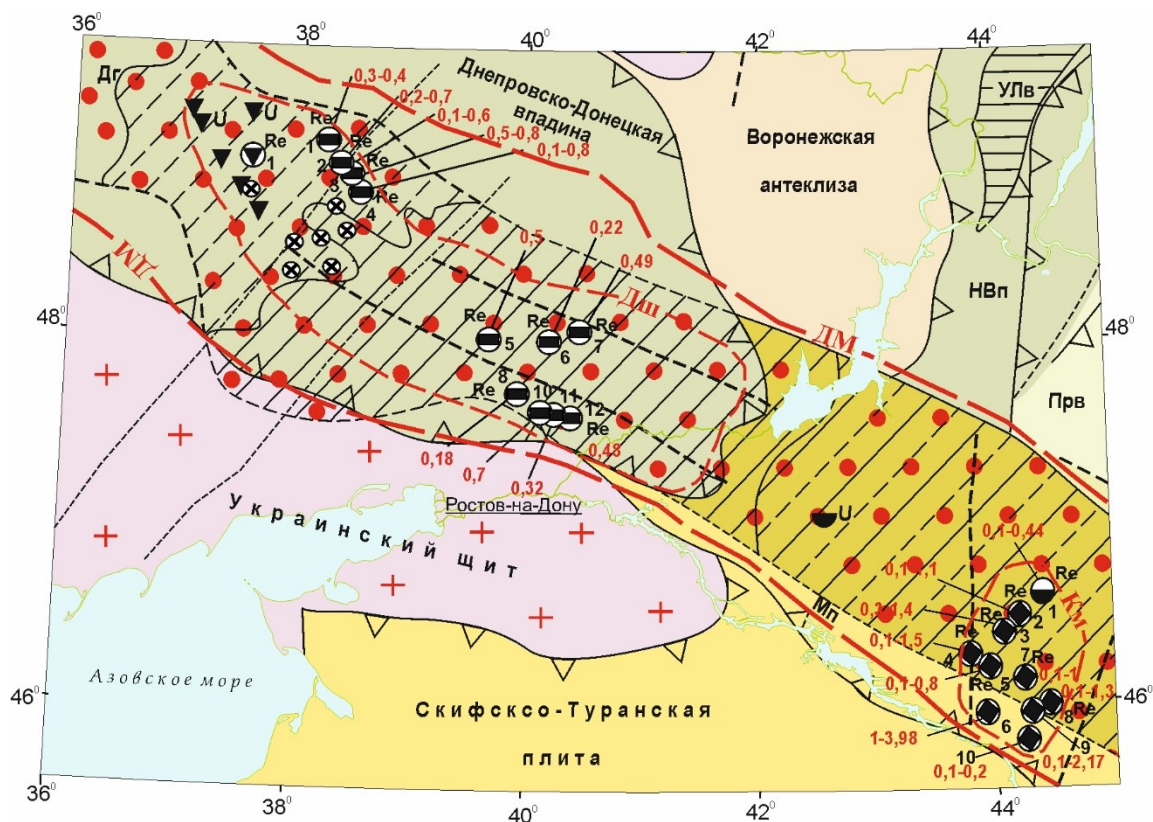


Рисунок 5.12. Тектоническая схема Донецко-Маньчской ПРМО.

Условные обозначения на рисунке 5.4.

Донецко-Шахтинский ПРР. В административном отношении располагается на территории Ростовской области, Донецкой и Луганской народных республик. Его площадь 31,12 тыс. км².

В пределах данного ПРР установлены многочисленные месторождения угля (антрациты) Донецкого бассейна, месторождения и проявления ртути (Никитовское, Константиновское и др.), свинца, цинка, меди, флюорита и золота [Металлогения Украины..., 1974; Металлические ..., 2005].

В целом на рений ПГГ изучен слабо. Основной перспективный уровень – среднекаменноугольный, связанный с углями и угленосными отложениями (Рисунок 5.13, 5.14). Кроме того, в качестве потенциально выделяется нижнепермский уровень, представленный медистыми песчаникам и сланцам Бахмутской котловины, а также перспективные на рений уран-битумные объекты (месторождение Адамовское и др.) (ренийсодержащая формация битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная) расположенные в краевых зонах соляных куполов, развитых в зоне сочленения Днепро-Донецкой впадины и Складчатого Донбасса.

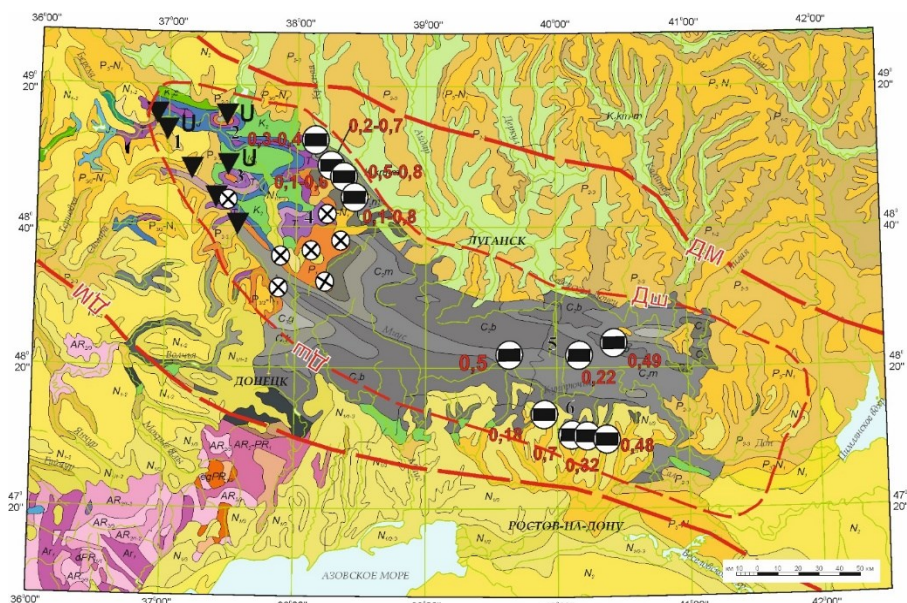


Рисунок 5.13. Геологическая карта Донецко-Шахтинского ПРР. Условные обозначения на рисунке 5.4

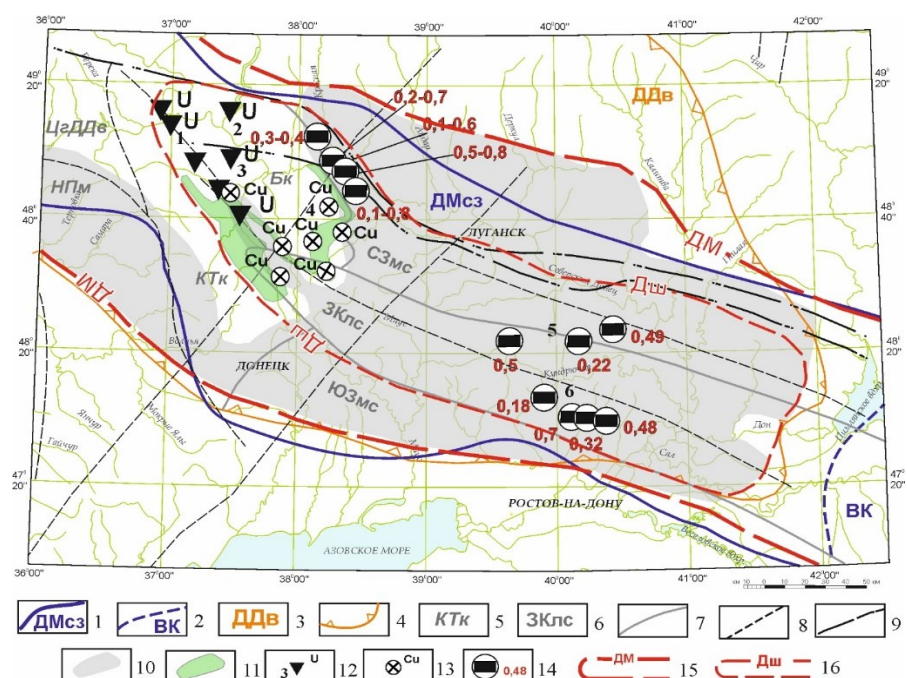


Рисунок 5.14. Прогнозно-металлогеническая схема Донецко-Шахтинского ПРР
 1 – границы Донецко-Мангышлакской складчатой системы (ДМсс); 2 – вал Карпинского (ВК); 3 – Днепровско-Донецкая впадина (ДДе); 4 – граница Днепровско-Донецкой впадины; 5 – тектонические элементы переходной зоны от Складчатого Донбасса к Днепровско-Донецкому грабену (КТк – Кальмиус-Торецкая котловина, Бк – Бахмутская котловина; ЦгДДе – центральный грабен Днепровско-Донецкой впадины, НПм – Новомосковско-Петропавловская моноклинал, склона Украинского щита); 6 – тектонические элементы Складчатого Донбасса (СЗмс – северная зона мелкой складчатости, ЗКлс – зона крупных линейных складок, ЮЗмс – южная зона мелкой складчатости); 7 – границы крупных тектонических структур; 8 – разломы, 9 – границы зон с различным тектоническим строением; 10 – область распространения промышленно угленосных отложений (C_{2-3}); 11 – область распространения потенциально перспективных на рений медистых песчаников и сланцев; 12 – потенциально перспективных на рений уран-битумные месторождения (1 – Берекское, 2 – Краснооскольское, 3 – Адамовское) и проявления; 13 – проявления медистых песчаников (4 – Берестянского); 14 – перспективные на рений объекты (каменноугольная ренийсодержащая формация), рядом содержание Re, г/т; 15 – Донецко-Маньчская ПРМО; 16 – Донецко-Шахтинский ПРР.

Среднекаменноугольный уровень. Рений (от 0,01 до 0,7 г) в ассоциации с Ag, V, Ni, Zn, Pb, Cu, Hg установлен в среднекаменноугольных углях Шахтинско-Несветаевского и Гуково-Зверевского геолого-промышленного района, а также в Лисичанском районе [Жаров и др., 1996; Угольная база России, 2000]. Установлено, что повышенные концентрации Re (от 0,22 до 0,49 г/т) в углях тяготеют к угольным разрезам, расположенным вблизи разрывных нарушений, ориентированных как поперечно к основному простиранию складок (район г. Гуково), так и имеющих северо-западную (субсогласную) ориентировку (район шахты «Шерловская-Наклонная»).

Нижнепермский уровень связан с медистыми песчаниками и сланцами, расположенными в пределах Бахмутской и северной части Кальмиус-Горькой котловин, в зоне сочленения Днепровско-Донецкой впадины и Складчатого Донбасса [Наркелюн и др., 1983; Металлические ... , 2005]. Стратиформное медное оруденение локализовано в нижней части разреза нижней перми (картамышской, никитовской, славяновской свите). Одним из наиболее изученных и перспективных объектов является Берестянское проявление меди (медистые песчаники и сланцы).

В северо-западной части Донецко-Шахтинской ПРЗ в зоне сочленения Днепровско-Донецкой впадины и Складчатого Донбасса краевых зонах соляных диапиров располагается группа уран-битумных месторождений – Адамовское, Красноскольское, Берекское и ряд проявлений: Петровское, Ново-Дмитриевское, Бантышевское, Ново-Троицкое [Ермаков и др., 1968, Пеньков, 1989; Генетические типы ... , 1995; Пеньков, 1996; Shumlyanskiy, 1997; Металлические ... , 2005]. В рудах Адамовского месторождения (ренийсодержащая формация Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная) в значимых количествах установлены не только уран, но и Mo, Cr, As, Zn, Pb, Hg, Re, Se [Генетические типы ... , 1995].

Основные перспективы зоны связаны с углями среднего карбона, медистыми песчаниками и сланцами нижней перми. Значительные масштабы разработки углей Донбасса при наличии рентабельной технологии позволяет рассматривать возможность попутного извлечения Re из углей и промпродуктов их обогащения на действующих обогатительных угольных фабриках. В подземных и шахтных водах также возможно наличие повышенных концентраций Re, поступающего в них из углей и угленосных отложений, в составе легкорастворимых подвижных комплексов. В случае наличия высоких содержаний Re в подземных водах они могут стать объектом разработки.

Металлогенический потенциал рения Донецко-Шахтинского ПРР оценен в 4500 т.

Калмыкский ПРР. Располагается в Восточном Предкавказье, на территории Республики Калмыкия (юго-западная часть Ики-Бурульский, Целинный, Приютненский,

Яшкульский району) и, частично, в Ростовской области (юго-восточная часть Ремонтненского района). Его площадь 6,05 тыс. км².

Район расположен в пределах вала Карпинского, который разделяет Восточно-Европейскую платформу и Скифскую плиту и при этом входит в состав Доно-Мангышлакской складчатой системы (Рисунок 5.15, 5.16). Район приурочен к Элистинскому мегаблоку вала Карпинского, который ограничен с запада и востока поперечными тектоническими нарушениями.

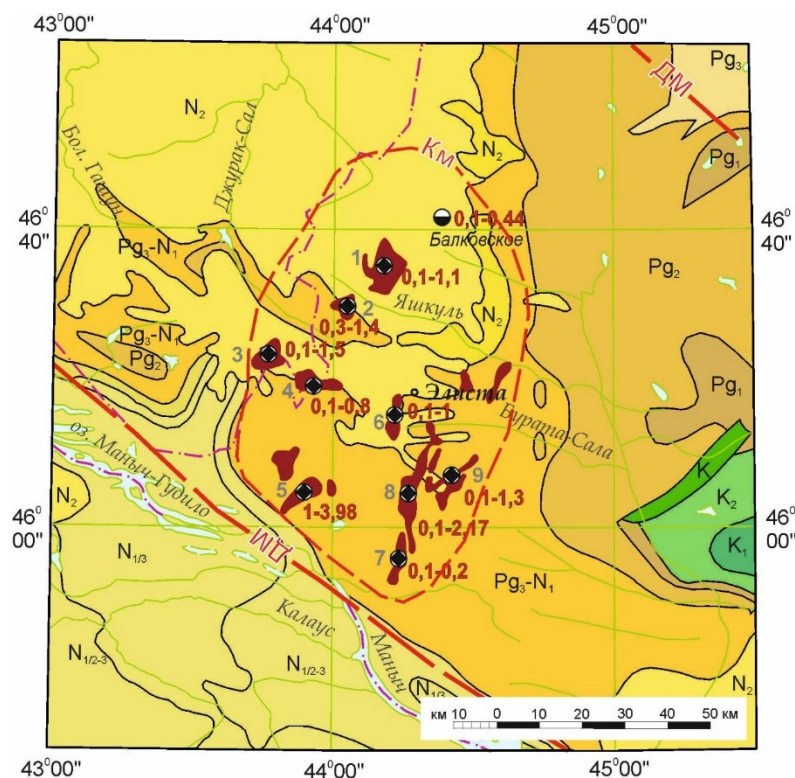


Рисунок 5.15. Схема размещения Калмыцкого ПРР
Условные обозначения на рисунке 5.4

В пределах ПРР выделяется два потенциально ренийносных уровня: майкопский, к которому приурочены органогенно-фосфатные уран-редкометалльные руды в глинах майкопской серии (ренийсодержащая формация Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом) и миоценовый, с которым связаны эпигенетические урановые объекты палеодолинного типа (ренийсодержащая формация урановая терригенная палеодолин), в проницаемых отложениях низовьев палео-Дона.

Майкопский уровень. В его пределах района в установлено 13 месторождений органогенно-фосфатного уран-редкометалльного типа (Степное, Центральная, Яшкульско-Троицкая, Воробьевская, Нугринская, Северо-Харабулукская, Прудово-Южнобуратинская, Багабурульская, Шаргадыкская, Богородская залежи и др.), десятки проявлений и многочисленные пункты минерализации (ренийсодержащая формация Фосфорно-

редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом). Глубина залегания рудных тел от 170 до 900 м. Рений постоянно присутствует в рудах, а его среднее содержание составляет от 0,2–1,4 до 3,98 г/т при этом повышенные значения (1,5–2,0 г/т) приурочены к высокосернистым рудам и породам, обогащенным сульфидами железа.

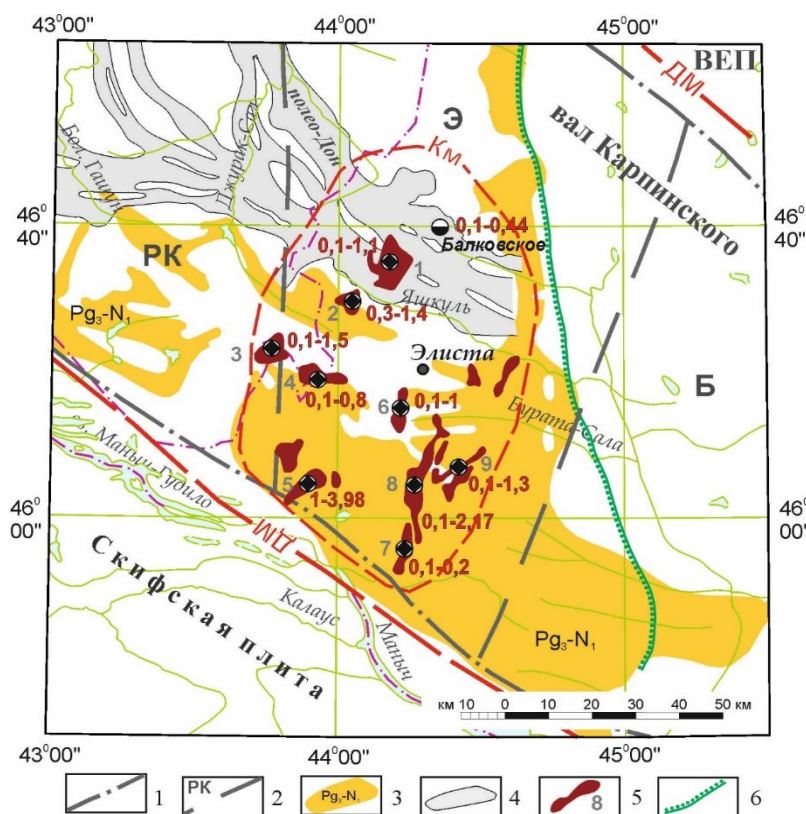


Рисунок 5.16. Прогнозно-металлогеническая схема Калмыцкого ППР

1 – границы тектонических структур второго порядка (Скифская плита, вал Карпинского, Восточно-Европейская платформа); 2 – границы блоков вала Карпинского (РК – Ремонтненско-Куберлинский, Э – Элистинский, Б – Бузгинский); 3 – область выхода на поверхность пород майкопской серии; 4 – эрозионная система палео-Дона; 5 – рудные залежи в породах майкопской (ренийсодержащая формация фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом) цифрами обозначены месторождения: 1 – Яшкульское, 2 – Троицкое, 3 – Шаргадыкское, 4 – Богородское, 5 – Степное, 6 – Северо-Харабулукское, 7 – Нургинское, 8 – Центральное, 9 – Багабурульская группа месторождений – Багабурульское, Прудовое, Южно-Буратинское, северо-восточная часть Багабурульского рудного поля, Вишнево-ское; 8 – Ергенинский уступ. Другие условные обозначения на рисунке 5.4.

Миоценовый уровень приурочен к отложениям яшкульской серии, выполняющим миоценовые палеоврезы низовьев системы палео-Дона. Здесь в пределах Яшкульской мульды установлено Балковское месторождение урана и ряд проявлений [Красных, 1996; Расулова, Тарханова, Каминов, 2008; Шор и др., 2009] (ренийсодержащая формация урановая терригенная палеодолин) (Рисунок 5.15).

Балковское месторождение урана сформировано зонами пластового окисления, связанными с нисходящей инфильтрацией подземных вод в условиях «вялого»

гидродинамического режима, что определяет их отличие от зон окисления других известных инфильтрационных месторождений и меньшую рудоносность. Содержание Re в рудах составляет около 0,14 г/т (до 1,43 г/т) [Енгальчев, 2019г].

Минерагенический потенциал на рений Калмыкского ПРР оценивается в 450 т.

5.6. Районы, расположенные вне потенциально рениеносных минерагенических областей

Ряд выделенных потенциально рениеносных районов располагается вне потенциально рениеносных металлогенических областей. К таковым относятся: Печорской ПРР, Калининградский ПРР и Яренгский ПРР.

Печорский ПРР. Располагается на западе Псковской области, Южной Эстонии и Восточной Латвии. Его площадь 10 080 км². В структурном отношении ПРР находится в северной части Латвийской седловины, осложненной Валмиерско-Локновским поднятием субширотного простирания (Рисунок 5.17). Он приурочен к региональной Лиепеае-Рижско-Псковской зоне разрывных нарушений, проявленной в фундаменте и осадочном чехле. Фундамент и перекрывающий его осадочный чехол разбиты на блоки, смещенные друг относительно друга (с амплитудой в десятки метров) по субвертикальным зонам нарушений.

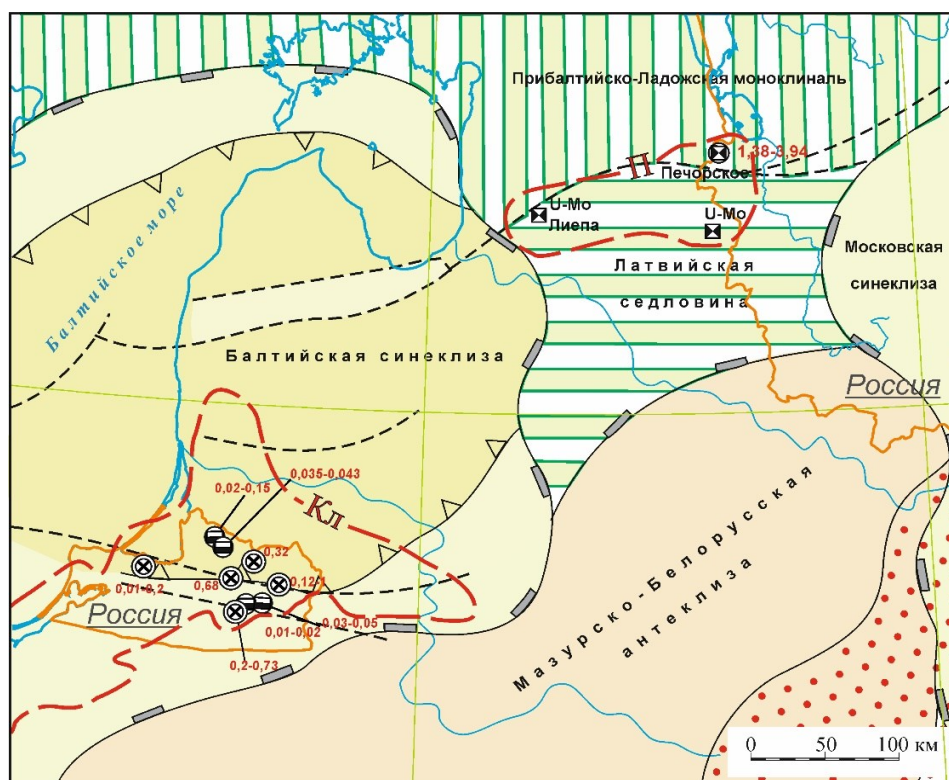


Рисунок 5.17. Тектоническая схема северо-запада Русской плиты с размещением Печорского ПРР и Калининградского ПРР. Условные обозначения на рисунке 5.4.

Район расположен в западной части Главного девонского поля, где на поверхность выходят терригенные песчано-глинистые средне-верхнедевонские отложения (Рисунок 5.18).

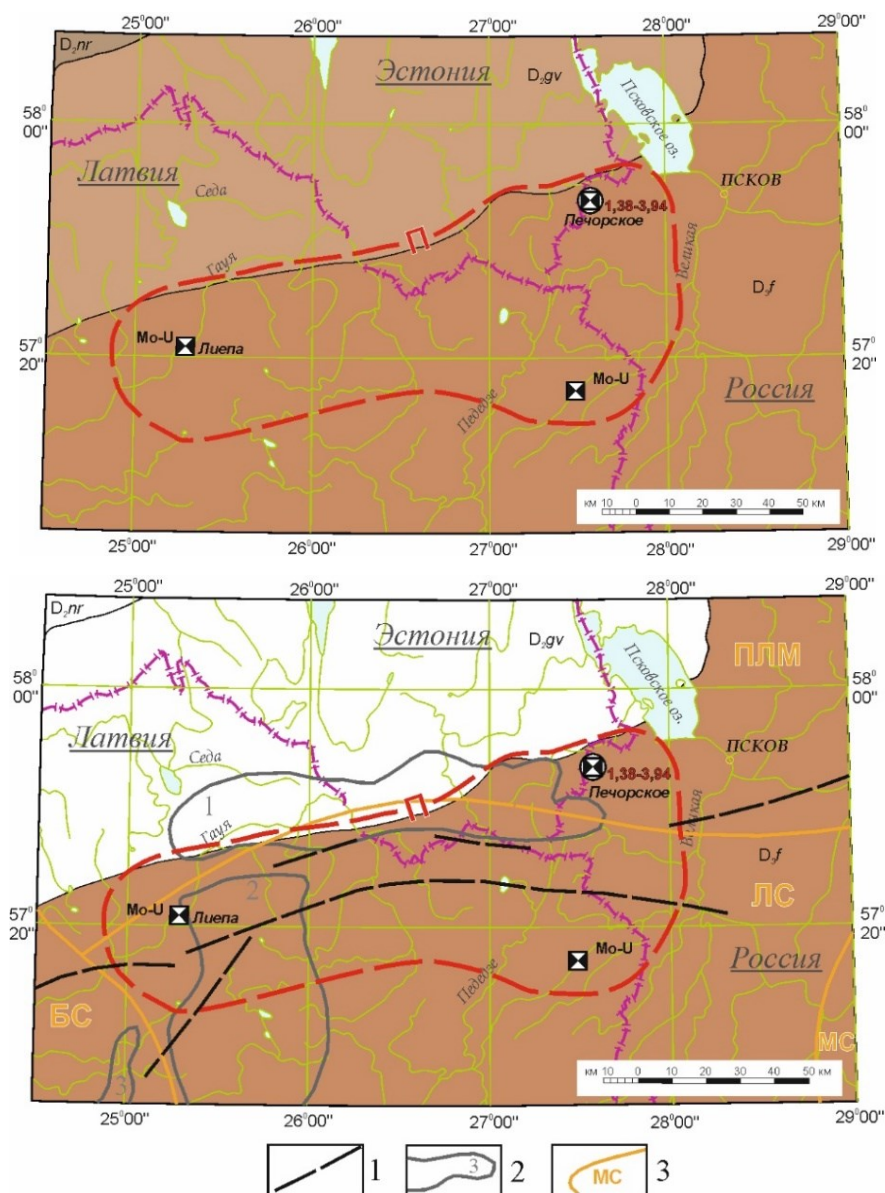


Рисунок 5.18. Геологическая карта и прогнозно-металлогеническая схема Печорского ПРР. Условные обозначения на рисунке 5.4. 1 – Лиенае-Рижско-Псковская зона разрывных нарушений; 2 – поднятия в фундаменте (1 – Валмиерско-Локновское, 2 – Эрглинское, 3 – Тауркалинское); 3 – региональные тектонические элементы (МС – Московская синеклиза, БС – Балтийская синеклиза, ЛС – Латвийская седловина, ПЛМ – Прибалтийско-Ладожская моноклираль).

Типовым объектом района является Печорское Re-Mo-U проявление (ренийсодержащая формация молибденовая в пестроцветных отложениях), приуроченное к нижней части комплекса верхнедевонских отложений (гауйская свита, швентойский горизонт). Содержание, Re в рудных Re-Mo-U обособлениях составляет от 1,38 до 3,94 г/т [Енгальчев, 2011е; 2012в]. Рений ассоциирует с U (до 0,53 %), Mo (до 7,29 %), а также Se, V, Y и As.

В качестве перспективных объектов для оценки на рений в данном районе выделяется *Mo-U проявление Лиена* на территории Латвии, которое так же, как и Печорское Re-Mo-U проявление, приурочено к гауьским отложениям.

На территории, расположенной вблизи Печорского Re-Mo-U проявления (на территории России), располагается Локновское рудное поле молибденовых руд площадью около 50 км², в пределах которого сосредоточены ресурсы (Рз) молибдена в объеме 16,5 тыс. т [Недра..., 2003], при его содержании 0,5–5,6%. Оценка на Re Локновского рудного поля не проводилась, однако, в его пределах высока вероятность обнаружения скоплений рения в молибденовых рудах по аналогии с Печорским проявлением. Минерагенический потенциал рения данного ПРР оценен в размере 15 т.

Калининградский ПРР. Он располагается на территории Калининградской области и прилегающих районов Литвы и Польши. Его площадь 26 350 км².

В геолого-структурном отношении район расположен в пределах Балтийской синеклизы, осложненной в центральной части Латвийско-Литовской впадиной (Рисунок 5.17, 5.19) [ГК, N–34 ... , 2011]. В осадочном чехле района установлены проявления цветных металлов (Zn, Pb, Cu) стратиформного типа [Загородных, 2000], также установлена платинометалльная минерализация породах саснавской свиты верхней перми [Гурская, 2000].

По авторским материалам в Калининградском ПРР выделяется два потенциально рениеносных уровня: нижнесилурийский (углеродистые аргиллиты гривинской свиты) и верхнепермский (углистые алевролиты саснавской свиты).

Нижнесилурийский уровень представлен углеродистыми сланцами верхнего силура, кровля которых располагается на значительных глубинах (от –700 м на востоке и до –1400 м в западной части) района. В результате опробования на рений черных углеродистых аргиллитах гривинской свиты в ряде глубоких скважин в сланцах были установлены содержания Re от 0,012 до 0,15 г/т (в среднем 0,043 г/т). Мощность гривинской свиты в регионе не превышает 10 м, на шельфе Балтийского моря – не более 3 м.

Верхнепермский уровень представлен углистыми сланцами и алевролитами саснавской свиты верхней перми (P_{3ss}) для которых характерны содержания рения 0,08–1 г/т, в ассоциации с V, Se, C_{орг}, Mo, Ni, Sb, Cu, Pb, U. Глубина залегания верхнепермского уровня от 500 м на северо-востоке до 1500 м на юге.

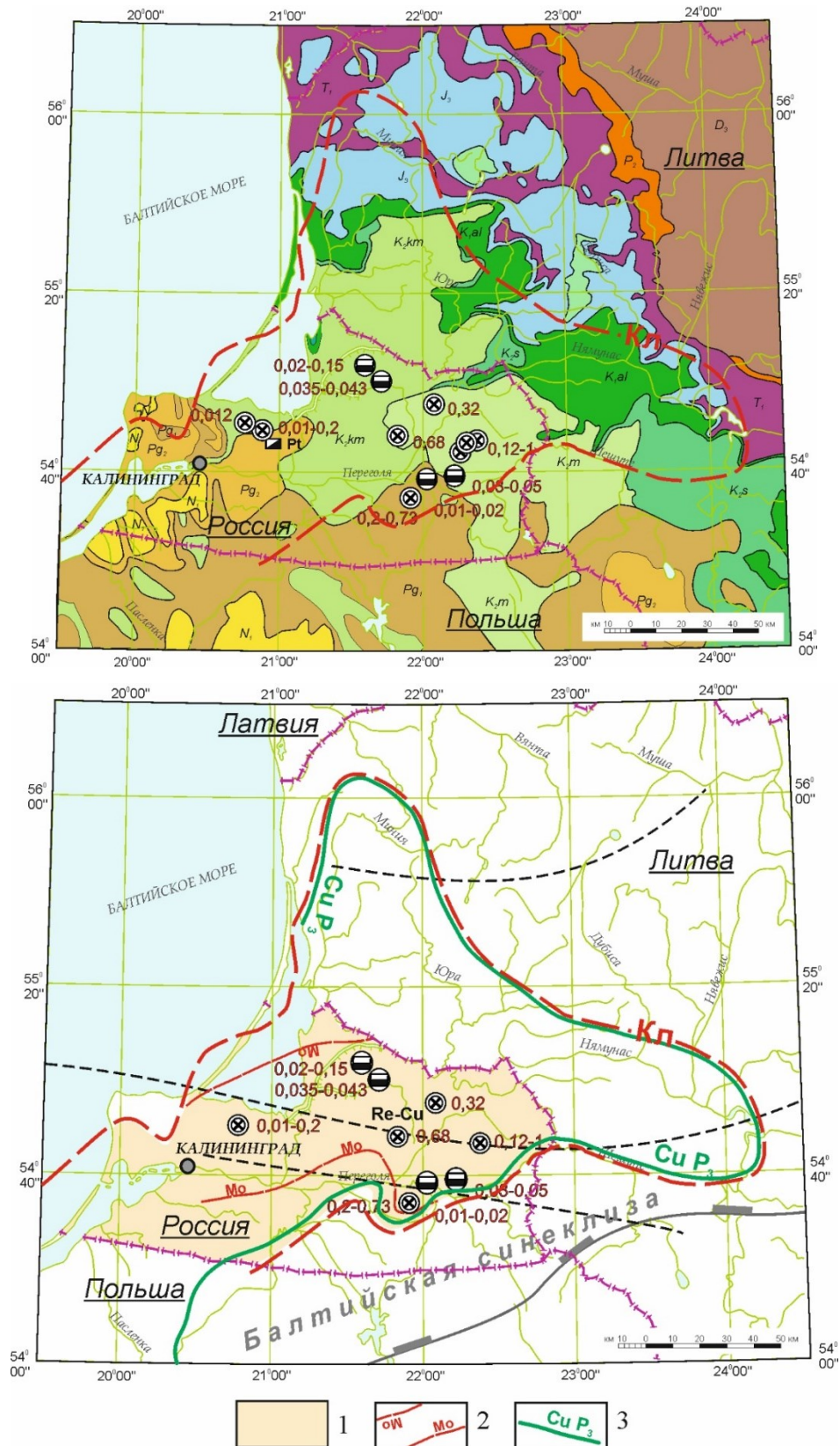


Рисунок 5.19. Геологическая карта (наверху) и прогнозно-металлогенетическая схема (внизу) Калининградского ПРР

Условные обозначения на рисунке 5.4, а также 1 – область распространения отложений сарнавской свиты (P_{3ss}) на территории Калининградской области; 2 – область повышенных (более 100 г/т) содержаний Mo в породах сарнавской свиты, по [Загородных, 2000]; 3 – потенциально меденосная область в породах верхней перми.

Основные перспективы района связаны с углистыми алевролитами и аргиллитами саснавской свиты верхней перми (ренийсодержащая формация медистых песчаников и сланцев). Важно отметить, что на территории юго-западной Польши в разновозрастных отложениях (отвечающих той же части разреза цехштейнового бассейна), установлены месторождения медных руд Любин, Серошовице и другие (медистые песчаники и сланцы), из которых в настоящее время промышленным способом добывают Re.

Значительна глубина (0,8–1 км) залегания рудоносных пород сильно снижает экономическую привлекательность данных объектов. Однако, поиски ренийсодержащего оруденения могут быть продолжены в северо-восточной части области, где глубина залегания продуктивных сланцев саснавской свиты не превышает 500–600 м.

Развитие в данном регионе термальных вод [Карта ... , 2008; ГКК, N-(34) ... , 2011], а также наличие залежей солей позволяет рассматривать возможность извлечения редких элементов (и в том числе подвижного Re) из пород осадочного чехла агрессивными рассолами. Мощные залежи солей и ангидритов, находящиеся в осадочном чехле, с одной стороны, являются мощным флюидоупором, способствующим консервации «подсолевых» рудоносных отложений саснавской свиты и сохранению их от разрушающего воздействия экзогенных факторов, а с другой, представляют собой покрывку для поступающих снизу флюидов, в том числе потенциально металлоносных.

Металлогенический потенциал Re района оценен в размере 20 т.

Яренгский ПРР. В административном отношении он располагается на территории Республики Коми и Архангельской области. Площадь 16 770 км². Район находится в юго-восточной части Мезенской синеклизы и приурочен к Вашкской впадине, выполненной отложениями триаса и юры (Рисунок 5.20). С северо-запада на юго-восток район пересекает, расположенный в фундаменте Керецко-Лешуконский авлакоген, разделяющий Архангельский и Вашкский выступы.

В верхнеюрских отложениях волжского яруса установлены прослои горючих сланцев, входящие в состав Яренгского сланцевого района [Горючие ... , 1989; Салдин и др., 2013]. Наибольшая сланценоность установлена на Чим-Лоптюгской площади, где наблюдаются 2–3 сближенных слоя горючих сланцев суммарной мощностью до 4,7 м, залегающих на глубине до 50 м. Суммарные ресурсы горючих сланцев сланценосного района составляют по категориям $P_1 + P_2$ – 10,79 млрд т. Чим-Лоптюгское месторождение имеет оцененные запасы C_2 – 905 млн т, а одноименный участок, подготовленный к промышленному освоению, имеет запасы по кат. C_1 – 94,5 млн т.

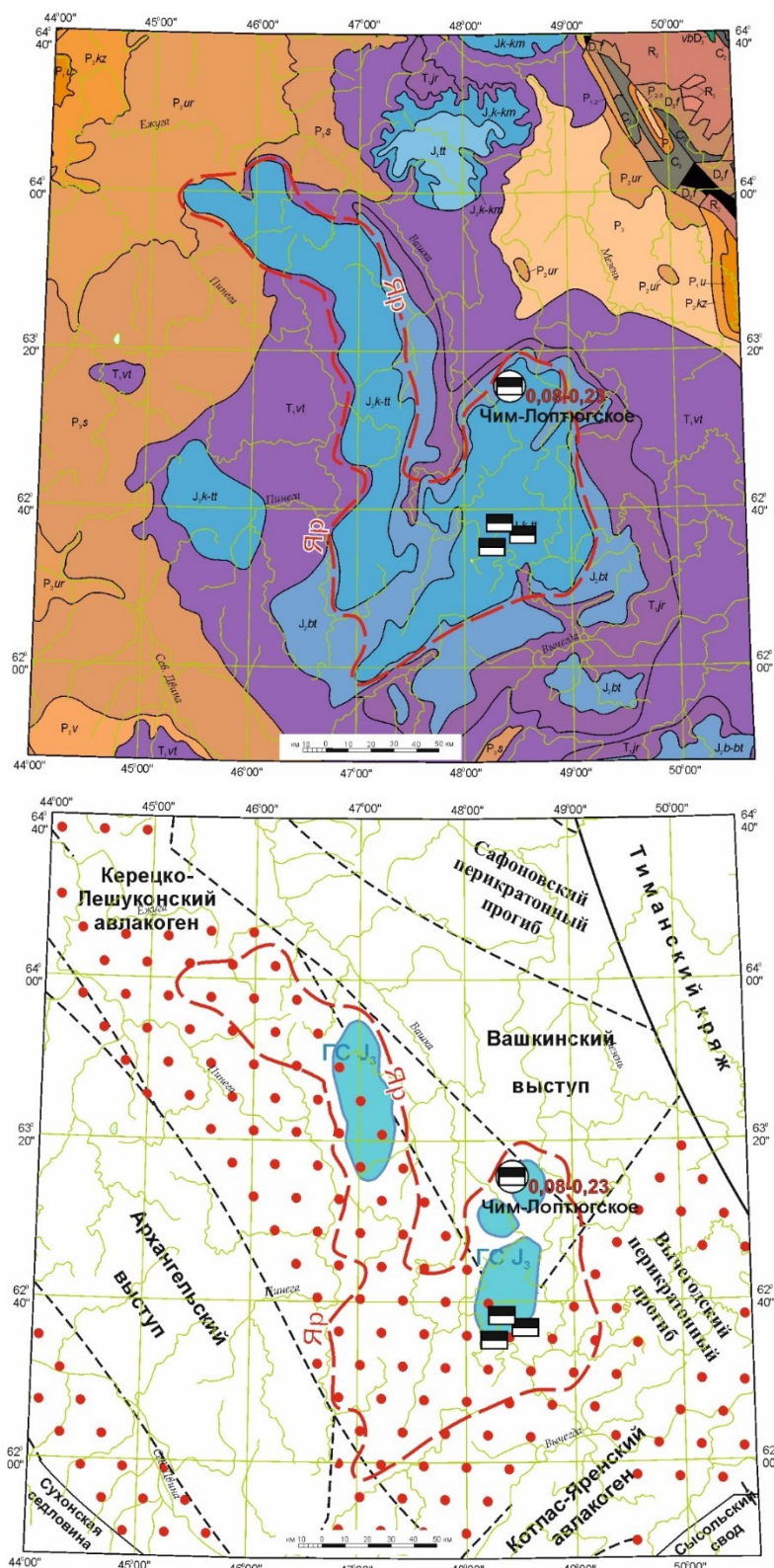


Рисунок 5.20. Геологическая карта и прогнозно-металлогеническая схема Яренгского ПРР.

Условные обозначения на Рисунке 5.4.

По авторским данным, в горючих сланцах Чим-Лоптюгского месторождения содержание Re составляет от 0,072 до 0,32 г/т (среднее - 0,145 г/т). Рений ассоциирует с Se (7,9 г/т), Cd (15,9 г/т) и Tl (5,1 г/т), а по данным предшественников повышенные содержания

Re составляют от 0,092 до 0,55 г/т, среднее 0,32 г/т [Игнатъев, Иванова, 2013]. Кроме того, определено, что сланцы Яренгского сланцевого района характеризуются рениевой специализацией [Карта угленосности... , 1996] (Таблица 3.1).

Основные перспективы района связаны с горючими сланцами верхней юры. В отличие от Чим-Лоптюгской площади, сланценоность и рениеность западной части Яренгского ПРР практически не изучена, однако, особенности ее строения позволяют надеяться на выявление и на ее территории горючих сланцев. Металлогенический потенциал рения района оценивается в 1500 т.

Таким образом, подводя итог сказанному в данной главе можно заключить, что в осадочном чехле ВЕП выделено четыре перспективные потенциально-рениеносные области – Ижорская, Среднерусская, Волго-Уральская, Донецко-Маньчская. Для Ижорской области, приуроченной к Балтийско-Ладожской моноклинали, типичны проявления ванадий-молибден-урановой формации (диктионемовые сланцы нижнего ордовика Прибалтийского бассейна). Для Среднерусской области, расположенной в Московской синеклизе, характерны месторождения и проявления формации урановая в угленосных отложениях (Брикетно-Желтухинское и Бельское месторождения в нижнем карбоне Подмосковского бассейна). Волго-Уральская область приурочена к одноименной антеклизе и ее типичными формациями являются: формация горючих сланцев (горючие сланцы, верхняя юра) и битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (Репьевское уран-битумное месторождение, Жигулевский вал). Донецко-Маньчская область, приурочена к Припятско-Донско-Мангышлакской палеорифтовой системе. Для нее типичны формации: фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом (группа месторождений и проявлений в майкопских отложениях вала Карпинского), каменноугольная (угли среднего-верхнего карбона восточного Донбасса). Наиболее перспективными на промышленное освоение являются Среднерусская и Донецко-Маньчская области.

ГЛАВА 6. ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАКОПЛЕНИЯ РЕНИЯ В ПОРОДАХ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

6.1. Формы нахождения рения в составе ренийсодержащих формаций

Химические элементы находятся в рыхлых отложениях, горных породах и рудах в минеральной и безминеральной формах. Последняя включает простые и сложные ионы, коллоидные частицы, сорбированные и взвешенные частицы. По признаку извлекаемости из пород простым выщелачиванием без разрушения решетки минералов безминеральные формы разделяют на подвижные и прочносвязанные.

Значимым критерием технологической оценки редкометалльных, в том числе ренийсодержащих, руд, характеризующихся низкими концентрациями редких элементов, является форма (формы) их нахождения.

В настоящее время для выявления форм нахождения редких элементов, используется не только электронная микроскопия, лазерная абляция, рентгенофазовый анализ, химический анализ методом ИСП-МС, но и методы, ориентированные на выявление водорастворимых (легкоподвижных) форм – водные вытяжки, последовательное экстрагирование, выделение сверхтонких фракций др.

В некоторых случаях, из-за отсутствия результатов специализированных исследований, предварительные суждения о форме нахождения того или иного редкого элемента в составе формации, обосновываются специалистами по наличию значимых положительных корреляционных связей между химическими элементами, их оксидами, минеральным составом пород, количеством органического вещества и др.

Сравнительно недавно экспериментальным путем было доказано, что редкие химические элементы, в т.ч. не образующие собственных минеральных фаз и находящиеся в породе в рассеянном виде, естественным образом концентрируются в сверхтонкой фракции, размеры частиц которой лежат в нанометровом диапазоне: от 0.1 до 1000 нм. т.е. в «нанодракции» или «субмикронные фракции». Согласно патенту РФ [Патент..., 2012] «нанодракция» извлекается из пробы водой при специально подобранных условиях. Для соблюдения размерности частиц используют мембранные фильтры. Раствор анализируется методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Задача по выявлению форм нахождения рения в составе ренийсодержащих формаций осадочного чехла ВЕП является весьма актуальной. В настоящее время, данный вопрос малоизучен, как из-за низких содержаний Re в составе пород и руд, так и из-за общей слабой минералого-геохимической изученности.

В настоящее время известны следующие формы нахождения рения в составе ренийсодержащих формаций рассматриваемого региона:

- Минеральная (прочносвязанная) форма, находящаяся в составе рассеянной сульфидной минерализации (молибденсодержащие минералы, пирит и др.);
- Сорбированная форма, связанная с органическим веществом (битуминозным, битумным или углистым) и глинистыми минералами;
- Водорастворимая (слабосвязанная, легкоподвижная) форма, представленные легкорастворимыми соединениями (извлекаемые дистиллированной водой).

При этом, в составе ренийсодержащих формаций рений может находиться в нескольких формах.

Из-за наличия повышенных содержаний рения (относительно других формаций) остановимся на характеристике форм его нахождения в объектах трех наиболее изученных ренийсодержащих формаций: Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом; Урановая в угленосных отложениях.

1. Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах. В данном разделе приводятся сведения по изучению диктионемовых сланцев нижнего ордовика Прибалтийской бассейна.

В сланцах установлена положительная связь содержаний Re и органического вещества $C_{орг}$ ($r = 0,6$), доля которого в составе сланцев составляет от 9 до 26 отн.%. Обращает на себя внимание, тот факт, что увеличение концентрации рения до 0,1–0,14 г/т сопровождается повышением количества $C_{орг}$, тогда как более высокие содержания рения обнаруживаются при низких содержаниях $C_{орг}$. Последнее указывает на нелинейный характер связи Re и $C_{орг}$, что, вероятно, определяется наличием нескольких форм нахождения рения.

Также, в диктионемовых сланцах проявлена связь Re с количеством сульфидов, присутствующими в составе сланцев (обычно содержание сульфидов в сланцах составляет 8–10 %). Они представлены как в виде отдельных уплощенных конкреций, тонких прослоев, так и рассеянной тонкозернистой минерализации. Сульфидная минерализация чаще всего представлена пиритом (часто с примесью Ni, Zn, Cu, As), марказитом (FeS_2), значительно реже сфалеритом (часто примесью Cd, Fe), кроме того присутствуют маккинавит ($(Fe, Ni)_{1+x}S$ (где $x = \text{от } 0 \text{ до } 0,11$)), грейгит (Fe_3S_4) и сульфиды железа нестехиометрического состава. Спорадически встречаются минералы свинца: галенит (PbS), англезит ($PbSO_4$), массикот (PbO) и платтнерит (PbO_2).

В результате исследований образца массивных сульфидов (пирит) с использованием микрозонда с лазерной абляции, было установлено, что в них рений присутствует в виде примеси в составе сульфидной (пирит, марказит, халькопирит, галенит) минерализации. В

сульфидах рений распределен крайне неравномерно, он ассоциирует в составе сульфидов с U, Mo, Ag, Cd, Co, Cu и As, а его содержание составляет 0,4–2,3 г/т (среднее 1,34 г/т).

По результатам селективного экстрагирования из диктионемового сланца различных органических фракций (использовались HNO₃, перекись водорода, бензол, гуминовые кислоты) установлено, что с гуминовыми кислотами связано 7 % рения, до 6 % – ванадия и урана, 15 % молибдена и хрома, меди – 20 % и около 50 % серебра и никеля [Вялов и др., 2013]. Высокими содержания рения и других металлов в гуминовых кислотах можно объяснить их сорбционными свойствами.

Из диктионемового сланца были выделены «породные фракции»: глинистая фракция (55 об. %), алевро-песчаная (45 об. %). Было установлено, что рений накапливается в глинистой части сланца, так в валовой пробе его содержание составляет 0,17 г/т, а в глинистой части 1,22 г/т [Благородные ..., 2022]. Последнее может быть связано с наличием в составе глинистой фракции тонкорассеянных микроразмерных сульфидов.

Интересные данные были получены Г. А. Олениковой и Е. Г. Пановой по формам нахождения Re в диктионемовых сланцах. Так, в результате специальной обработки сланцев водой из них были получены субмикронные фракции [Олейникова, Панова, 2007; Олейникова, Панова, 2010].

Выход таких фракций из пробы диктионемового сланца составляет 1,94 %, а содержание Re в ней достигает 22,6 г/т. При исходном содержании рения в штучной пробе 1,74 г/т его извлечение в «субмикронную» фракцию составило до 25,3 %. Извлечение части рения водой можно объяснить тем, что часть рения присутствует в породе в водорастворимом легкоподвижном состоянии. Наиболее вероятна локализация ренийсодержащих минералов субмикронного размера в трещинах и поровом пространстве породы [Благородные..., 2022].

Извлечение субмикронных фракций было выполнено для 11 проб диктионемовых сланцев, отобранных в полосе Балтийско-Ладожского глинта в Ленинградской области. Ниже в таблице 6.1. приведены средние значения для валового анализа проб и для полученных из них субмикронных фракций. По содержанию рения пробы сгруппированы на две группы. Различия в содержании рения невысоки, и граница выбрана условно по величине рения в 0,9 г/т: первая группа проб «обогащена» рением, содержание которого составляет от 0,093 до 0,139 г/т, а вторая группа проб «обеднена» рением (от 0,085 до 0,062 г/т). Средняя величина содержания субмикронной фракции в составе сланцев составила 1,2 % (вариации от 0, до 3,59%) для первой группы и 1,7% (вариации от 0,47 до 4,92%) для второй.

Таблица 6.1 – Вариации средних содержаний рения и ряда химических элементов в валовых анализах диктионемовых сланцев и в составе субмикронной фракций (СМФ) в г/т, ИСП МС

Химический элемент	Интервал содержания рения, г/т			
	0,062 – 0,085 (n = 5)		0,093 – 0,139 (n = 6)	
	Валовый анализ	СМФ (1,7 %)	Валовый анализ	СМФ (1,2 %)
Re	0,071	0,083	0,115	2,113
U	58,34	52,87	66,26	123,26
V	408,84	53,66	592,32	130,9
Mo	156,87	20,03	205,52	700,38
Cu	72,22	59,84	64,89	139,68
Co	9,52	48,70	8,16	59,53
Ni	48,8	249,14	55,36	397,14
Zn	19,92	134,43	16,16	184,98
Sb	6,0	1,08	7,22	23,82
Ag	0,76	0,01	0,88	0,052
Sc	10,15	4,21	11,23	15,46
Ga	19,27	0,34	21,52	1,02
Sr	92,41	71,74	108,90	213,45
Ba	1232,83	36,43	1934,78	131,3
Be	2,57	4,17	2,81	4,81
Cr	55,61	5,38	63,49	14,02
Ge	1,23	0,37	1,38	2,01
Rb	131,49	37,88	160,73	60,34
Y	18,69	14,38	18,92	20,25
Sn	1,51	0,019	1,91	0,19
Th	7,38	0,44	9,67	5,09
Zr	112,58	0,41	127,99	5,70
Ta	1,14	0,008	1,33	0,03
Nb	12,3	0,01	14,13	0,28
Cs	7,44	2,11	9,82	2,81
Hf	3,0	0,07	3,61	0,19
W	2,81	0,02	2,69	0,13
Сумма REE	150,25	83,75	139,16	95,57

Примечание: рядом с СМФ в скобках указана средний процент содержания субмикронной фракции в процентах.

Анализ полученных материалов показал, что в относительно обогащенных рением пробах в субмикронную фракцию переходят и накапливаются в ней Re, Zn, Ni, Co, Mo, Sb, Cu, U и практически не переходят в нее Nb, Ta, Hf, Zr, W, Ge, Ba. Сходна картина наблюдается и для относительно обедненных рением проб сланцев. Так, в субмикронную фракцию переходят Zn, Co, Ni, Be, Re, и не переходят – Nb, Zr, Ta, W, Sn, Ga, Ba. Данные о крайне низкой мобильности (или ее отсутствии) для Nb, Ta, Hf, Zr, W, Ge показывает связь этих элементов с обломочными минералами, присутствующими в составе.

Полученные данные показывают, что в диктионемовых сланцах значительная часть рения в ассоциации с Zn, Ni, Co, Mo, Sb, Cu, U находится в водорастворимом относительно легкоподвижном состоянии. Полученные выводы согласуются с наличием корреляционной связи рения в диктионемовых сланцах с органическим веществом и тонкорассеянным сульфидным материалом.

Таким образом, рений в диктионемовых сланцах присутствует в нескольких формах: сорбированной форме, связанная с битуминозным органическим веществом и глинистыми минералами; минеральной (прочносвязанной) форме в составе рассеянной сульфидной минерализации и водорастворимой (слабосвязанной, легкоподвижной) форме представленной молекулярных и коллоидными комплексами.

2. Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом. В данном разделе приводятся сведения по изучению комплексных руд месторождений, связанных с костным детритом в майкопских отложениях вала Карпинского. Рений постоянно присутствует в их составе, а его среднее содержание составляет от 0,2–1,4 до 3,98 г/т.

В целом по данным химического анализа руд и вмещающих пород установлена общая положительная связь между содержанием рения и сульфидов железа (пирит и др.) и максимальные средние концентрации Re (1,5–2 г/т) установлены в рудных залежах, в которых наблюдается обильная сульфидная минерализация. Однако, также установлено, что при одинаковой сернистости на различных месторождениях содержание Re в рудах различно, что, вероятно, свидетельствует о специфике каждого объекта по проявлению процессов накопления рения.

Анализ авторской выборки проб (212 шт) позволил выявить высокие положительные корреляционные связи Re с $S_{\text{сул}}$ ($r = 0,67$), Mo (0,62), Fe_2O_3 (0,48), и слабая связь с Al_2O_3 (0,16), и отрицательную с CaO (–0,51 %). Отсутствие корреляционной связи Re с фосфатным веществом руд, из которого состоит костный детрит, свидетельствует о том, что значительная часть рения связана именно с сульфидным материалом пород.

Высокая положительная корреляционная связь Re с серой, входящей в состав сульфидов проиллюстрирована на диаграмме (Рисунок 6.1). Заметно, что руды Шаргадыкского месторождения обогащены серой (сульфидами), а Багабурульского обеднены, однако, связь Re - $S_{\text{сул}}$ остается весьма существенной. Высокая связь пары Re–Mo, типична для всех рассматриваемых руд рассматриваемого района.

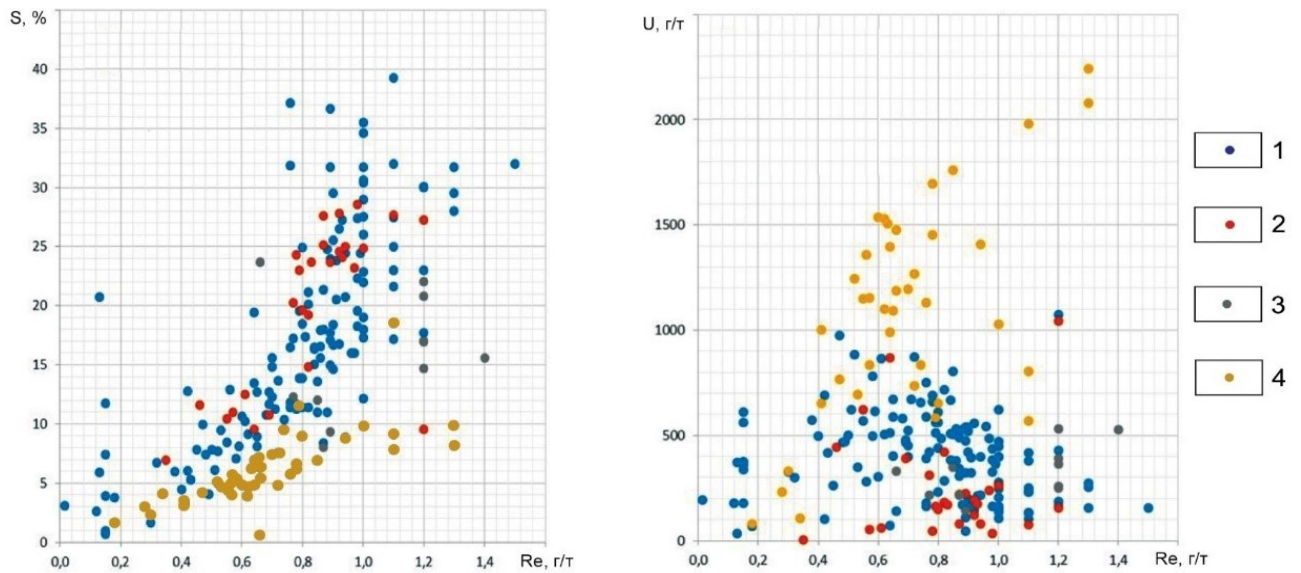


Рисунок 6.1. Бинарные диаграммы содержаний рения, урана (г/т) и серы сульфидной (%) в органогенно-фосфатных уран-редкометалльных рудах Калмыкии (использованы фондовые материалы ГП «Кольцовгеология» и авторские данные)

Цифрами обозначены месторождения: 1 – Шаргадыкское (западная часть), 2 – Шаргадыкское (восточная часть), 3 – Троицкое, 4 – Багабурульское.

Автором для выявления характера распределения Re в рудных горизонтах ряда месторождений района и вмещающих пород, были выделены и проанализированы сульфидные концентраты как в рудных прослоях, и вмещающих глин (Таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Распределение рения и ряда химических элементов между валовой пробой и сульфидным концентратом для рудного прослоя и вмещающих глин на Шаргадыкском месторождении, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Рудный прослой (костный детрит, глинистое вещество, сульфиды)		Вмещающая порода (глинистое вещество с рассеянной сульфидной минерализацией)	
	Порода (в целом)	Сульфидный концентрат	Порода (в целом)	Сульфидный концентрат
Re	0,56	0,25	0,0062	0,0087
Mo	100	581	1,05	33,6
U	281	63,1	3,28	0,67
Se	47,8	21,8	2,41	2,63
V	111	67,1	144	10,9
Bi	1,38	1,65	0,47	0,05
Sb	11	31,5	0,85	3,18
Co	251	237	21,8	25,9
Ni	395	491	56,3	257
Cu	399	418	41,5	13,1
Zn	570	798	119	146
Pb	60,1	104	25,7	23,1
Ag	0,55	1,3	0,057	0,059
Cd	11,4	5,56	0,17	0,16

По полученным данным установлено, что рений накапливается в сульфидной части рудных прослоев совместно с Mo, Pb, Zn, Ni, Co, Sb, Bi, Cu, тогда как во вмещающих породах картина менее контрастна из-за низких содержаний рения. Но при этом отчетливо накопление в сульфидном концентрате Mo, Sb, Ni, Zn.

Интересные данные получены автором при проведении эксперимента с водной экстракцией пробы органогенно-фосфатной руды Шаргадыкского месторождения (Таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Содержание рения и ряда химических элементов в пробе (валовый анализ) органогенно-фосфатной руды Шаргадыкского месторождения и полученной из нее водной вытяжки, ИСП МС, г/т

Химический элемент	Валовый анализ пробы	Водная вытяжка	Предел обнаружения
Re	0,83	0,28	0,005
U	172	5,06	0,1
V	111	3,99	2,5
Mo	125	<0,6	0,6
Cu	192	<1	1
Co	454	312	0,5
Ni	813	751	1
Zn	910	688	1
Pb	81,4	<1	1
Bi	2	<0,1	0,1
Cd	10	6,1	0,1
Sb	32,6	0,16	0,1
Ag	0,51	<0,01	0,01
Se	26,6	1,18	0,3
Sc	11,7	<0,2	0,2
Ga	14,2	0,12	0,1
Sr	343	110	1
Ba	268	<3	3
Li	33,8	9,65	1
Be	1,9	<1	1
Cr	73,2	<1	1
As	409	4,98	1
Ge	2,16	<0,1	0,1
Rb	62,1	<2	2
Y	243	6,28	0,1
Sn	2,82	<0,2	0,2
Te	3,37	<0,2	0,5
Tl	7,93	<0,1	0,1
Th	8,73	<0,1	0,1
Zr	83,9	<0,5	0,5
Ta	0,47	<0,1	0,1
Nb	6,31	<0,5	0,5

Установлено, что в водную вытяжку переходит не только Re, но и Cd, Co, Ni, Zn. Выявлено накопление рения в составе водной вытяжки свидетельствует о присутствии части рения в составе руд в водорастворимой (легкоподвижной) форме, доступном для извлечения водой.

Ранее специалистами ФГБУ «ВИМС» были получены сведения о наличии рения в пирите (до ~ 0,4 %), в дисперсных обособлениях углеродистого материала и в гелеобразном веществе железо-сернистого состава (до 4 %) [Тюленева и др., 2014]. По мнению автора, именно с гелеобразным веществом сложного состава может ассоциировать (или входить в его состав) водорастворимые (легкоподвижные) формы нахождения рения.

Таким образом, Re в составе органогенно-фосфатных руд Калмыкии (ренийсодержащая формация - фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом) имеет несколько форм нахождения: минеральная - в составе с сульфидной минерализации руд, на что указывает высокая корреляционной связи Re с сульфидной частью руд (с $S_{\text{сул}}$ и Fe_2O_3) и его ассоциация с Mo, Cu, Se, и накопление рения в сульфидном концентрате руд; водорастворимая (легкоподвижная) находящаяся в породах в коллоидном, водорастворимом виде и в составе «подвижного комплекса». Вероятнее всего, Re не образует самостоятельных минеральных форм в составе сульфидов, а присутствует в виде труднодиагностируемых субмикронные (наноразмерные) обособлений.

3. Урановая в угленосных отложениях. В данном разделе приводятся сведения по изучению двух типовых ренийсодержащих месторождений региона - Бельского и Брикетно-Желтухинского. Автор принимал участие в работах ФГБУ «ИМРГЭ» при изучении этих объектов, и в частности, в минералого-геохимических исследованиях руд и рудовмещающих отложений, а также изучении форм нахождения рения.

На Бельском Re-Mo-U месторождении автором было проведено изучение цемента рудовмещающих песчаных пород. Установлено, что Re и сопутствующие ему элементы (U, V, Mo, Se) в песчаных породах накапливаются преимущественно в цементе песчаных пород, где их доля в 5–15 раз больше, чем в валовой пробе. Так, глинистый цемент представлен преимущественно каолинитом и иллитом, реже присутствует смектит, а сульфидный цемент сложен пиритом, реже марказитом. В сульфидном цементе диагностирован ряд пирит, сфалерит, лимонит, галенит, пирротин, а также уранинит (от UO_2 до U_3O_8), уванит ($U_2V_6O_{21} \times 12H_2O$), ферримолибдит ($Fe(MoO_4)_3 \times nH_2O$); ильземаннит ($Mo_3O_8 \times xH_2O$). Самостоятельные минеральные формы рения не обнаружены.

Наличие повышенных содержаний Mo и U в составе цемента песчаников согласуется с рентгенофазовым анализом, по данным которого в цементе присутствуют уранинит, уванит, ферримолибдит, ильземаннит.

Содержание Re были определены в двух разновидностях пирита, присутствующих в пробах – однородный кристаллический («сливной») пирит, и «рыхлый» (развитый по органическим остаткам). Результаты исследований проб (38 определений Re по данным лазерной абляции) показали, что наиболее высокие содержания рения (до 22 г/г) установлены в «рыхлом» пирите, образующем псевдоморфозы по растительным остаткам.

Минеральный состав Re-Mo-U руд и вмещающих пород Брикетно-Желтухинского месторождения изучался автором с учетом такие особенности отложений как рыхлость, наличие органического (углистого) вещества, наличие рассеянной сульфидной минерализации. Для диагностики минералов использовались растровый электронный микроскоп и рентгенофазовый анализ.

В рудовмещающих отложениях выделяются два типа пород, содержащих оруденение: первый тип представлен алевро-песчаными, существенно кварцевыми породами, обогащенными сульфидами; второй тип – угли, содержащие сульфиды. Во всех исследованных пробах в той или иной степени присутствует рассеянная сульфидная минерализация, представленная пиритом, в небольших количествах присутствует марказит, сфалерит, пирротин. В песчаниках и алевритах это мелкие конкреции и «контактный» сульфидный цемент. В углях и углистых глинах сульфиды частично замещают растительные остатки или образуют фрамбоидные минеральные обособления.

Автором в составе рудных интервалов выявлен широкий комплекс минералов [Енгальцев, 2019a]. Установлено несколько типов пирита: первый - лишен примесей (образует массивные и фрамбоидальные выделения), второй - содержит в своем составе Ni (до 0,42 %) и As (до 0,54 %) (Рисунок 6.2). В составе руд диагностированы уранинит, селен самородный, каусталит, вульфенит, аргентит, смесь аргентита и халькозина, медь самородная, стибнит, галенит, сфалерит, пентландит, барит, циркон, монацит, кальцитит и апатит.

По данным рентгенофазового анализа, в пробах сульфидов из песчаных пород рудных интервалов автором диагностированы пирит, сфалерит с примесью Cd, гетерогенит, а в пробе угля, наиболее богатой рением (192 г/т) – пирит, арсенопирит, гетерогенит ($\text{Co}^{3+}\text{O}(\text{OH})$) до 5 ± 2 % и редкие минералы молибдена: ильземаннит ($\text{Mo}_3\text{O}_8 \times n\text{H}_2\text{O}$), ферромолибдит (водный молибдат железа $\text{Fe}_3^{2+}(\text{MoO}_4)_3 \times 8\text{H}_2\text{O}$) и камиокит ($\text{Fe}_2^{2+}\text{Mo}_4^{4+}\text{O}_8$). В пробах также установлена примесь пиролюзита (до 2 %) и марказита. Вероятнее всего, выявленные редкие молибденсодержащие минералы являются продуктами преобразования (выветривания) молибденита.

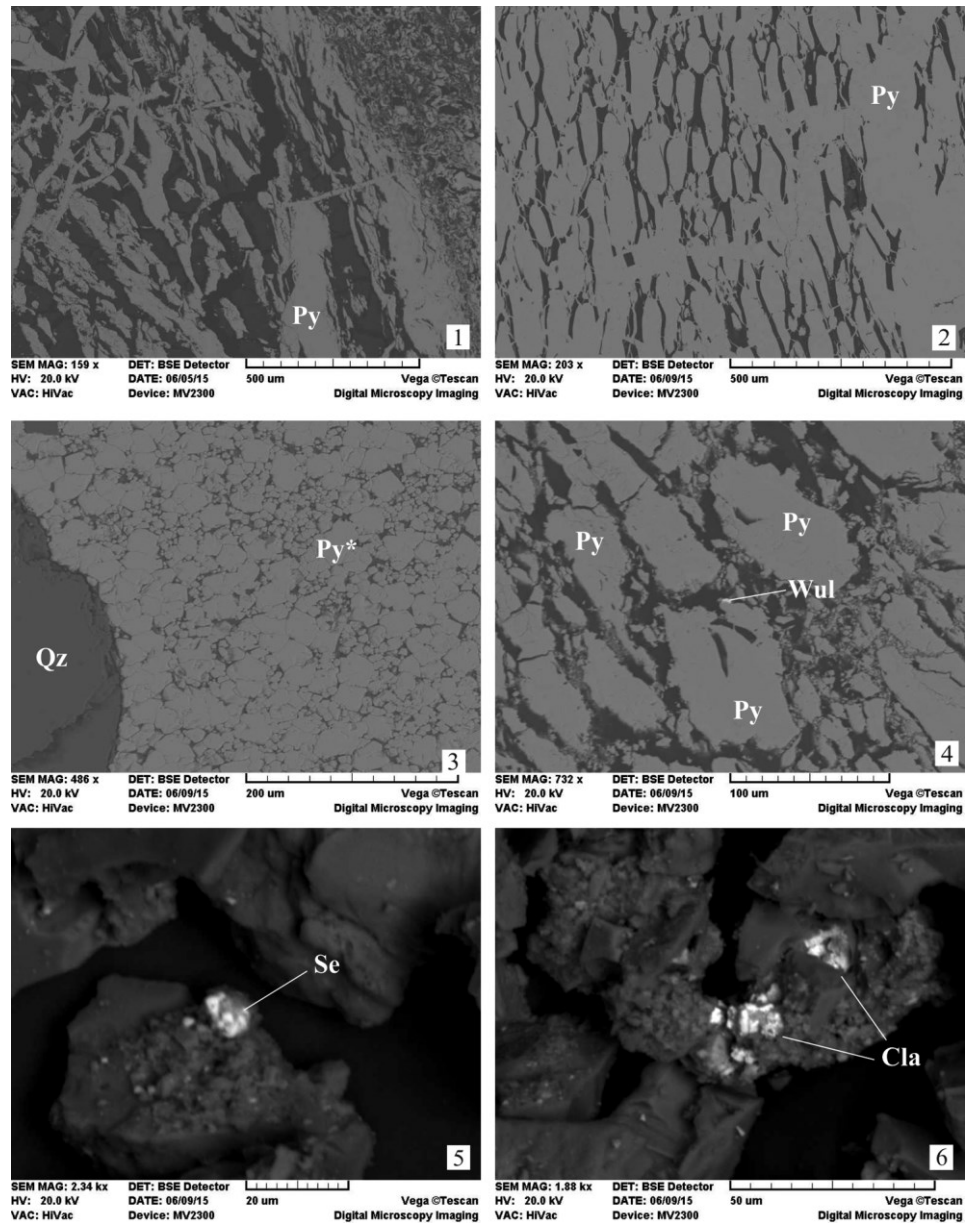


Рисунок 6.2. Микрофотографии сульфидов из рудных зон Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского месторождения. Сканирующая электронная микроскопия (BSE)
 1, 2 – псевдоморфозы пирита (Py) по углефицированным растительным остаткам; 3 – пирит с высоким содержанием Ni, As, Co (Py*); 4 – вульфенит (Wul) в зоне сульфидной (пирит) цементации в песчанике; 5 – самородный селен (Se), 6 – клаусталит (Cla).

В ходе исследований рудных интервалов Брикетно-Желтухинского месторождения минеральных форм рений не установлен. Результаты экспериментов по выщелачиванию рения из руд свидетельствуют в пользу наличия подвижных форм рения в рудах [Карась и др., 2016]. Есть основания полагать, что одна из форм рения имеет состав Re_2S_7 , и именно эта форма легко растворяется в воде.

Анализ кларков концентрации (Кк) Re, Mo и U в различных литологических разностях пород продуктивного горизонта БЖМ показал, что их наиболее высокие значения характерны для темноцветных углистых песков и алевритов. Также было установлено, что содержание

рения, урана и молибдена хорошо коррелируют с $S_{орг}$ и $S_{сул.}$. Данные факты косвенно указывают на наличии связи рения, молибдена и урана с рассеянным углистым детритом в составе песчаных пород, с которым ассоциирована тонкозернистая рассеянная сульфидная минерализация.

О накоплении рения именно в тонкозернистом материале свидетельствуют данные по анализу различных размерных фракций. Так, по данным химических анализов, выполненных для отдельных фракций песчаных (алевро-песчаных) пород (2,5–1; 1–0,5; 0,5–0,25; 0,25–0,1; 0,1–0,05; 0,05–0,04 и 0,04–0,01 мм), было установлено, что наиболее высокие содержания Re и целого ряда химических элементов приурочены к наиболее тонкозернистым фракциям, обогащенным тонкокристаллическим пиритом [Енгальчев, 2019а]. Минимальные значения содержания большинства химических элементов, в том числе и Re, фиксируются в фракциях 0,25–0,1 или 0,5–0,25 мм, образующих большую часть породы. Они представлены преимущественно обломочными зернами кварца, часть из которых сцементирована глинистым или сульфидным материалом.

Авторский анализ массива данных полученных в результате проведения геологоразведочных работ ФГБУ «ИМГРЭ» на БЖМ позволил определить величину связи Re с U и Mo в породах «известнякового фундамента», бобриковского горизонта и вышележащих неогеновых отложений. В расчете были использованы пробы, содержащие рений более 0,002 г/т. Выборка характеризуется следующими параметрами: «известняковый фундамент» – 70 шт. (менее 0,002 г/т – 6 проб, т. е. 7,9 %), бобриковский горизонт – 1865 шт. (менее 0,002 г/т – 111 проб, т. е. 0,6 %), перекрывающие образования неогена – 153 шт. (менее 0,002 г/т – 246 проб, т. е. 62 %). Объем выборки составил 2451 шт. (более 0,002 г/т – 2088 шт. и менее 0,002 г/т – 363 шт).

Рассчитанные коэффициенты корреляции для Re-U и Re-Mo свидетельствуют о наличии четкой связи Re с Mo и U. Наиболее сильные связи с этими элементами характерны для пород «известнякового фундамента» и бобриковского горизонта. Наиболее высокие значения величины коэффициента корреляции (0,74) установлены для пары Re-Mo в породах бобриковского горизонта.

Анализ особенностей распределения содержаний Re на БЖМ месторождении показал, что в его пределах «рудными» можно считать пробы с содержанием рения более 2,8 г/т. По авторским данным, максимальное содержание Re составляет 266 г/т, а по данным [Карась и др., 2016] до 583 г/т.

Отдельно были определены средние содержания химических элементов для проб богатых рением (более 1 г/т) и относительно обедненных им (менее 1 г/т). В ходе обработки материалов было установлено, что повышенное содержание Re ассоциирует с высокими значениями Mo, V,

Tl, Sb, Th, Ag, As. Дополнительно было выполнено опробование наиболее богатых Re интервалов разреза. В этих пробах определялся не только валовый состав, но содержание рения в отдельных разностях пород. Отдельно проанализированы пробы глин из песчаных интервалов, что позволило провести сопоставление их состава между собой и определить породы-концентраторы рения.

По данным обработки химических анализов установлена связь Re и Fe. Так как основная масса сульфидов в пробах представлена пиритом, а песчаники имеют кварцевый состав, то можно с уверенностью полагать, что установленное в пробах суммарное железо связано преимущественно с пиритом. В результате исследований было показано, что в песчаных пробах существует связь рений–пирит. Однако установленная связь может иметь и парагенетический характер, так как повышенные содержания Re приурочены к темноцветным (сероцветные, темно-серые до черных) разностям песков, обогащенных углистым детритом, и реже углям, слагающим тонкие прослои в алевро-песчаной толще. В связи с этим можно полагать, что Re связан и с углистым детритом.

Наличие высокой корреляционной связи Re и Mo и обнаружение в богатых Re пробах молибденсодержащих минералов (вульфинит, ильземаннит, ферромолибдит, камиокит) свидетельствует, что рений входит в состав этих Mo-содержащих минералов, частично замещая молибден в их структуре. Можно полагать, что не вся масса Re связана с ними и он присутствует в составе пирита, а также образует труднодиагностируемые ренийсодержащие подвижные формы, ассоциирующие с рассеянным органическим веществом.

Интересные результаты были получены при проведении экспериментов по получению различных вытяжек из руд Брикетно-Желтухинского месторождения. По данным [Викентьев, Кайлачаков, 2019; Кайлачаков и др., 2020] были проведены эксперименты последовательного выщелачивания с использованием модифицированной схемы Тессьера [Tessier et al., 1979; Андрющенко и др., 2017]. Извлечение катионов металлов осуществлялось различными растворами электролитов при разных параметрах проведения экспериментов, что позволяет полнее оценить формы нахождения этих металлов, прежде всего, сорбционные [Vikentyev et al., 2007; Новиков и др., 2014]. Было проведено последовательное выщелачивание (десорбция) металлов из образца наиболее богатого рением - углистого алеврита с повышенным содержанием U, Re и Mo выщелачивания. Было установлено, что более половины рения (56%) в рудах связано с углистым веществом (вытяжка 33% H_2O_2); 29% рения находится в ионообменной форме в органических соединениях и в глинистых минералах (вытяжка 1M раствор $MgCl_2$) и 13% – в слабосвязанной форме в виде легкоподвижных соединений (вытяжка дистиллированной водой). Менее 2% рения в рудах находится в прочносвязанной и в

остаточной формах, вероятно, в составе молибденосодержащих сульфидов [Викентьев, Кайлачаков, 2019; Кайлачаков и др., 2020].

Авторские результаты экспериментов по изучению водных вытяжек из руд Брикетно-Желтухинского месторождения приведены в таблице 6.4. Были исследованы образцы углей с высокими содержаниями Re и в противоположность к ним породы (сероцветные пески с углистым детритом, черная глина с углистым детритом) с более низкими, рядовыми содержаниями рения.

Таблица 6.4 – Содержания рения, урана и молибдена в валовой пробе, водной вытяжке и экстракте смесью хлороформа и спирта из руд Брикетно-Желтухинского месторождения, ИСП МС, г/т

Образцы	Валовый состав					
	Полное кислотное разложение			Разложение в царской водке		
	Re	Mo	U	Re	Mo	U
уголь с сульфидами	95,90	3635,78	978,62	89,71	2277,17	854,09
уголь	19,57	76,37	110,63	16,71	49,57	93,32
песок серый	3,13	48,3	22,97	2,49	30,49	18,13
песок черный углистый	5,73	13,04	45,07	4,62	6,72	38,31
глина черная с сульфидами	2,14	114,5	4139,74	1,60	59,99	3462,85
Образцы	Экстракция смесью хлороформа и спирта			Водная вытяжка (коллоидно-солевая фракция, менее 1 микрона)		
	Re	Mo	U	Re	Mo	U
уголь с сульфидами	9,22	15	11,7	2,53	210	726,00
уголь	2,32	0,18	0,68	1,05	<0,6	38,80
песок серый	0,32	0,24	0,31	2,99	0,69	6,50
песок черный углистый	1,09	0,022	0,056	2,73	<0,6	6,50
глина черная с сульфидами	0,36	0,086	3,68	0,90	<0,6	1680,0

В результате эксперимента было установлено, что из образцов песчаных и глинистых пород с рядовыми содержаниями Re в водную вытяжку перешло значительно больше рения, чем из обогащенных рением углей.

Полученные данные свидетельствуют, о том, что в обогащенные рением пробы, вероятнее всего, находится преимущественно в «связанном» виде, в составе углистого вещества или в составе сульфидов, тогда как в рудоносной песчаной толще, обогащенной рассеянным углистым детритом, обладающих повышенной проницаемостью, значительная часть Re находится в коллоидном виде и способна к водной миграции. Такие данные имеют

особую ценность для разработки технологии скважинного подземного выщелачивания и ее совершенствования.

Таким образом, рений в рудах Брикетно-Желтухинского месторождения представлен несколькими формами: Сорбированная форма, связана с углистым веществом (углистыми прослоями или рассеянным углистым детритом) она содержит более 80 % рения; Минеральная, прочносвязанная форма связана с тонкозернистым пиритом и молибденсодержащими минералами (молибденит, ильземаннит, ферромолибдит, камиокит, вульфенит), ее доля составляет около 2-5 %; Водорастворимая (легкоподвижная, слабосвязанная) форма составляет около 15-20 % и представлена труднодиагностируемые Re-содержащие легкоподвижных формах, которые извлекаются в водную вытяжку.

В таблице 6.5. в обобщенном виде суммированы сведения о формах нахождения рения в составе различных ренийсодержащих формаций осадочного чехла ВЕП.

Таким образом, можно заключить, что рений, как правило, присутствует в составе пород и ренийсодержащих руд осадочного чехла ВЕП в виде нескольких формах нахождения: минеральной (прочносвязанной), находящаяся в составе рассеянной сульфидной минерализации (молибденсодержащие минералы, пирит и др.); сорбированной, связанная с органическим веществом (битуминозным, битумным или углистым) и глинистыми минералами а также водорастворимой (слабосвязанной, легкоподвижной), представленные легкорастворимыми соединениями (извлекаемые дистиллированной водой).

Таблица 6.5 – Формы нахождения рения в составе ренийсодержащих формаций осадочного чехла ВЕП

Ренийсодержащая формация	Сорбированная форма, связанная с органическим веществом	Минеральная (прочносвязанная) форма, связанная с тонкорассеянными сульфидами	Водорастворимая (легкоподвижная) форма	Объект в осадочном чехле ВЕП
1. Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах	++	+++ в составе сульфидных обособлений (пирит, марказит, халькопирит, галенит)	Извлечение в коллоидно-солевою фракцию составило 25,3% рения.	Диктионемовые сланцы, Прибалтийский бассейн
2. Горючих сланцев	+	+– (пирит)	нд	Горючие сланцы, верхняя юра (Яренгский сланцевый район и др.)
3. Каменноугольная	++	++ (пирит)	нд	Месторождения угля Восточного Донбасса
4. Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом	–+	+++ (пирит)		Редкометалльные уран-органогенно-фосфатные месторождения Ергенинского района
5. Медистых песчаников и сланцев	+	++ Возможно, в сульфидах меди (ковеллин, тенорит, хризоколла, халькозин, делафоссит) и минералах серебра (акантита, аргентита), в ванадате и диклуазите.	нд	Проявления Вятско-Камской меденосной полосы Сарманово, Гребени, Мамадыш
	++	+	нд	Меденосные углистые алевролиты саснавской свиты (пермь), Калининградская
6. Урановая терригенная палеодолин	-	++	нд	Балковское проявление. Гашунская впадина
7. Урановая в угленосных отложениях	++	++ (пирит)	нд	Бельское Re-Mo-U месторождение
	++ (около 80 %)	+++ Тонкорассеянный пирит, арсенопирит (?), Мо-содержащие минералы (ильземаннит, ферромолибдит, камиокит). около 2-5 % Re	около 15-20%	Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U месторождение

Продолжение таблицы 6.5.

Ренийсодержащая формация	Сорбированная форма, связанная с органическим веществом	Минеральная (прочносвязанная) форма, связанная с тонкорассеянными сульфидами	Водорастворимая (легкоподвижная) форма	Объект в осадочном чехле ВЕП
8. Молибденовая в пестроцветных отложениях	–	++ минералы молибдена (повеллит, вульфенит) и пирит	нд	Печорское проявление (Mo, U) и Находский ПМ (Новгородская область)
9. Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная	++	++ в составе минералов молибдена (иордизит, повеллит, молибденит), а также ванадия и селена.	нд	Репьевское месторождение (U, V)

Примечание: нд – нет данных.

6.2. Источники рения

При характеристике условий формирования ренийсодержащих формаций, нельзя не коснуться наиболее дискуссионного вопроса - источника рения. Данный вопрос неоднократно обсуждался в литературе [Юдович, Кетрис, 1994; и др.], однако, трудности связанные, с одной стороны, с недостатком аналитических данных по содержаниям Re в различных типах пород и руд осадочного чехла и фундамента ВЕП, а с другой – с недостаточной изученностью механизмов миграции и концентрации Re в различных природных средах, до сих пор не позволяют однозначно диагностировать источник (источники) рения и оставляют область для дискуссий и предположений.

Установленные ренийсодержащие формации в большинстве своем амагматичны и отсутствует их явная связь с магматическими или вулканическими образованиями. При этом для ряда рудных объектов проявлен контроль в их размещении со стороны тектонических структур в осадочном чехле (склоны поднятий, разрывные нарушения, флексуры) часто имеющих глубинное заложение, а также погребенных рифейских рифтов (авлакогены), и пограничных зон древних блоков фундамента.

В качестве источников рения рассматриваются: породы области сноса, воды палеобассейна, пирокластический материал поступающий в палеобассейн, вулканические гидротермы и в широком смысле глубинные сингенетичные разгрузки. При этом возможно сочетание перечисленных источников поступления материала.

1. Породы области сноса. В условиях медленного поднятия области сноса в континентальных условиях на ней могла формироваться кора выветривания, а в ее зоне окисления могли создаваться условия благоприятные для мобилизации и миграции рения в водорастворимых (легкоподвижных) формах в составе подземных и поверхностных вод.

Рудные объекты, в том, числе ренийсодержащих типов (молибден, уран, медь и др.) могли разрушаться, а находящиеся в их составе рудные компоненты, могли поступать в расположенный рядом осадочный палеобассейн. В качестве дополнительного благоприятного фактора могли выступать участки распространения пород, обогащенных рением (например, древние вулканиты или углеродистые толщи).

В качестве первичного источника рения для диктионемовых сланцев, в частности, рассматривается южный склон Балтийского (Фенноскандинавского) щита, являющегося областью палеосуши в ордовике.

2. Воды палеобассейна, в том числе придонные. Равномерный характер распределения рения в прослоях углеродистых сланцев указывает на его поступление в углеродистые осадки из морских вод в ходе син-диагенетических процессов.

Среднее содержание рения в морской воде составляет 0,006 мкг/л [Юдович, Кетрис, 1994]. Морские бассейновые воды являются промежуточным концентратом целого ряда элементов и существенным источником урана, и вероятнее всего, и рения, при образовании месторождений в битуминозных сланцах (формация Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах), например, сланцев Прибалтийского и Майкопского палеобассейнов, и горючих сланцев (формаций Горючих сланцев), например, Волжский бассейн.

Источником редких химических элементов (в том числе и рения), в седиментационных палеобассейнах, где накапливались горючие сланцы, вероятнее всего, являлись придонные воды, которые, имели питание в том числе за счет разгрузки в водную толщу эксфильтрационных термальных (в том числе металлоносных) флюидов по разрывным нарушениям. В качестве таковых, например, для Яренгского сланцевого района рассматриваются нарушения в бортовой зоне Керецко-Лешуконского авлакогена, а для Сысольского сланцевого района зона Вятско-Кажимского авлакогена, а для западной части Волжского бассейна, и в частности, Кашпирского месторождения – Жигулевская система тектонических нарушений. Разгрузка флюидов, прогрев осадков и водной толщи палеобассейна наряду с другими факторами положительно влияла на увеличение биопродуктивности планктона.

3. *Пирокластический материал.* Широко известно, что продукты разрушения пирокластического материала фиксируются в черносланцевых бассейнах многих регионов [Юдович, Кетрис, 1996; 2010]. Поступление пирокластического материала в бассейн осуществляется воздушной транспортировкой из районов развития эксплозивного вулканизма.

Пирокластический материал фиксируется в составе битуминозных диактионемовых сланцах Прибалтийского бассейна [Юдович, Кетрис, 2010; Вялов и др., 2013], в горючих сланцах Волжского бассейна в виде обломков вулканического стекла и примеси Na- и Na–Са-сметитов в составе сланцев и сланцевой толще [Букина, 2013; Илясов, Староверов, Илясов, 2024]. Многочисленные прослои тонштейнов представленных измененным (каолинитизированным) пирокластическим материалом, известны в угленосных толщах Донбасса. Присутствие измененного вулканического материала фиксируется в породах майкопского палеобассейна в Калмыкии и на Мангышлаке [Шарков, 2008].

Ассоциация рения с современными вулканическими процессами и его наличие в фумарольных газах вулкана Кудрявый на Курильской гряде (о.Итуруп) позволяют допустить, что пирокластический материал (пеплы) поступающий в осадочный бассейн может являться дополнительным источником рения.

Разрушение свежего вулканического материала, вероятнее всего, приводило к поступлению в осадки и придонные воды редких и рассеянных элементов. Часть из них могла фиксироваться в осадках богатых органическим веществом.

Некоторые геологи [Вялов, Ларичев, Балахонова, 2013; Вялов и др., 2013; Балахонова, 2014], основываясь на единичной находке неокатанных минеральных зерен санидина алевритовой размерности (диагностика выполнена на микронзондовом анализаторе и подтверждена рентгенофазовым анализом) в тонкоалевритовой фракции диктионемовых сланцев на западе Балтийско-Ладожского глинта, полагают, что это связано с поступлением в бассейн седиментации вулканического материала и его последующим разрушением в аквальной обстановке. Однако нельзя исключать поступления мелкоразмерных зерен санидина в бассейн седиментации из области палеосуши, которой в раннеордовикское время была территория южной части Балтийского щита. Так, санидин является типичным минералом докембрийских пород, слагающих рифейские вулканические образования острова Гогланд в восточной части Финского залива [Беляев, 2013], а также других вулканитов южной части щита. Кристаллы тонкой (тонкоалевритовой) размерности могли переноситься поверхностными водотоками во взвеси, чем можно объяснить практическое отсутствие следов истирания и сохранность кристаллографических очертаний зерен санидина, присутствующих в сланцах. Ведь хорошо известно, что обломки тонкоалевритовой размерности при транспортировке во взвеси практически не окатываются.

Наличие в тонкоалевритовой фракции сланцев единичных зерен санидина не может в полной мере являться доказательством участия вулканических пеплов в формировании диктионемовых сланцев, а тем более формировать их металлогенический облик и быть источником рения, урана и других элементов в сланцах. Однако, нельзя исключать поступления в раннеордовикский седиментационный бассейн вулканического материала (пепла). Тем более, что, по данным [Юдович, Кетрис, 2010] в диктионемовых сланцах содержится полевошпатовая «пирокластика», которая поступала в бассейн седиментации с вулканическими пеплами.

4. Вулканические гидротермы. Данный источник можно обосновано предложить пока только для формации Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом, объекты которой расположены на территории Калмыцкого района и Мангышлака. Рудные залежи приурочены к склонам палеоподнятий, в пределах которых проявлялся вулканическая деятельность (в том числе подводная), сопровождаемая подводные разгрузки термальных вод [Шарков, 2008; Енгальчев, 2010, 2011а,д].

В зонах вулканической деятельности уран, и рений мог поступать путем подводного высачивания минерализованных растворов и газов эндогенного происхождения.

5. *Глубинные сингенетические разгрузки*. Предположение о роли эндогенных флюидов в качестве источника отдельных элементов для осадочного их накопления высказывались уже достаточно давно, в частности, при образовании месторождений меди, железорудных месторождений, фосфора, марганца, свинца, цинка и др. [Юдович, Кетрис, 2010].

Исходя из сведений о наличии рения в водах на хвостохранилищах Джекказганского месторождения (до 700–100 мкг/л [Калинин, Файн, 1977]), в нефтяных водах, а также в составе трещинных и пластовых вод угольных месторождений, можно предполагать, что рений не мигрирует на значительные расстояния и фиксируется на ближайшем восстановительном барьере. При этом он активно мигрирует в «ближнем круге» месторождений. Последнее, во многом роднит его с ураном и молибденом, концентрации которых часто фиксируются вблизи рудных месторождений [Калинин, Файн, 1977; Иванов, Поплавко, Малевский, 1998].

Источник рения в составе углеводородов в настоящее время однозначно не определен. Один из возможных вариантов предусматривает поступление металлов в углеводороды из нефтематеринских толщ, другой допускает фиксацию металлов в нефтях и битумах на восстановительном барьере из подземных вод и рассолов (в том числе растворов глубинной циркуляции), обогащенных редкими металлами.

Ассоциация Re в нефтях с никелем, ванадием и кобальтом может указывать на глубинный источник этих металлов. На примере Волго-Уральской нефтегазоносной провинции показано, что фундамент территории дислоцирован, а в его составе фиксируются зоны тектонической проработки и изменений, а при этом нефти региона – специализированы на Re, V, Ni и Co.

Исходя из высоких содержаний ртути в битуминозных сланцах Прибалтийского бассейна [Халдна и др., 1986] и в горючих сланцах верхней юры Волжского бассейна можно сделать предположение о поступлении этого элемента из глубин при формировании осадков палеобассейна.

Для медистых песчаников и сланцев (Приуралье, Донбасс), содержащих рений (а также Au, Ag, ЭПГ), можно полагать, что этот редкий элемент совместно с медью поступал из областей сноса и концентрировался в составе обломочных минералов, которые в последующем прошли диагенетические изменения. Кроме того, в качестве дополнительного источника могут рассматриваться глубинные подтоки рудного вещества [Волков и др., 2018], в том числе связанные с разгрузкой флюидов (возможно с участием углеводородов). В пользу последнего указывают пространственное совмещение углеводородных залежей и областей развития медистых песчаников в Приуралье и медистых песчаников на Донбассе в краевой части Днепровско-Донецкой впадины.

При всей дискуссионности определения источников рудного вещества, по мнению автора, в качестве таковых для Брикетно-Желтухинского месторождения (и, вероятно, сходных объектов района) можно рассматривать не только вскрытые на поверхности на момент формирования угленосной толщи породы фундамента Воронежской антеклизы (Воронежский свод) [Карась и др., 2016, 2017; Викентьев, Кайлачаков, 2020; Кайлачаков и др., 2020], но и структуры центрального типа Калужско-Бельской зоны, связанные с нарушениями кристаллического фундамента. Поступление рудного материала могло происходить за счет эксфильтрационных металлоносных вод при тектоно-магматической активизации региона. «Известковый фундамент» в районе Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского месторождения нарушен секущими окварцованными зонами с брекчиями, которые можно рассматривать как «каналы» для поступления гидротермальных растворов. В пользу участия «гидротермальных» источников свидетельствует и геохимическая ассоциация рения в рудах с Mo, V, Tl, Sb, Th, Ag, As.

Проблема определения источника рения в составе ренийсодержащих формаций весьма дискуссионная. Однако, имеющиеся материалы позволяют высказать предположение, что основными источниками рения можно считать: породы области сноса, воды палеобассейна, пирокластический материал, вулканические гидротермы и глубинные син-диагенетичные разгрузки. При этом возможно поступления рения из различных источников.

6.3. Базовые модели накопления рения

Как было показано выше в осадочном чехле ВЕП установлено значительное природное разнообразие ренийсодержащих формаций: Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; Горючих сланцев; Каменноугольная; Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом; Медистых песчаников и сланцев; Урановая терригенная палеодолин; Урановая в угленосных отложениях; Молибденовая в пестроцветных отложениях; Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная. Они приурочены к породным комплексам широкого возрастного диапазона - от ордовика до миоцена.

Каждая ренийсодержащая формация обладает своими структурно-вещественными особенностями (физико-механические свойства, химический и минеральный состав, геохимическая ассоциация, содержанием органического вещества и сульфидов и др.), мощностью и протяженностью рудных тел, обстановкой локализации и др.

В результате обобщения имеющихся материалов была поставлена задача по созданию геолого-генетических моделей формирования ренийсодержащих формаций. Как известно, генетический подход к анализу геологических (и, в частности, рудных) объектов, имеет как

свои позитивные стороны, так и ограничения. Качество модельных построений определяется данными о вещественном составе и строении объекта. Значительную трудность при разработке геолого-генетических моделей вызывает поиск объекта-аналога, так как достаточно часто, изучаемый объект обладает своими уникальными свойствами, отличными от условного «близкого аналога». Еще одним осложняющим фактором является проявление вторичных наложенных процессов, которые могут исказить первичную геологическую ситуацию. Последнее особенно актуально для рения (как и для ряда других редких и рассеянных элементов), миграция которого возможна в растворенном виде в составе подземных вод.

Трудности построения геолого-генетических моделей для ренийсодержащих формаций осадочного чехла ВЕП во многом определяется следующими обстоятельствами: общим низким содержанием Re в составе пород и руд (кларк Re в земной коре, по А. П. Виноградову, составляет $1 \cdot 10^{-7}$ %); малым количеством информации о формах миграции рения; ограниченностью данных о минералах-носителях рения; недостаточная чувствительность массовых спектральных анализов для определения околосларковых содержаний рения; а также размещение ренийсодержащих формаций в осадочных комплексах чехла, которые из-за слабой литификации обладают проницаемостью, что в ряде случаев способствует интенсивному проявлению в них более поздних, по отношению к основному этапу накопления рения, экзогенных эпигенетических процессов.

Автором для каждой ренийсодержащей формации осадочного чехла ВЕП была предложена и обоснована частная геолого-генетическая модель, которая объединяет параметры, характеризующих геолого-генетические особенности рудообразующей системы или ее составных частей. Она описывает три главные части системы: источник вещества; зону транспорта (тепло- и массопереноса); область концентрированного рудоотложения (рудная зона, рудное поле, месторождение). Эти же части системы определяют ее вертикальный и латеральный размах, а также масштаб проявления [Генетические модели..., 1983]. Кроме того, несомненно, важным параметром является сохранность сформированных рудных концентраций, от воздействия экзогенных процессов.

Анализ авторских генетических материалов (полученных в результате генетической интерпретации геологических данных), а также массива литературных данных по условиям формирования сходных ренийсодержащих объектов в других регионах [Кисляков, Щеточкин, 2000] позволил выделить две базовые геолого-генетические модели формирования ренийсодержащих формаций: сингенетическую и эпигенетическую.

6.3.1. Сингенетическая модель

Основным механизмом син-диагенетической концентрации рения в осадочных породах является его осаждение (фиксация) из водных растворов, что определяется физико-химическими параметрами миграции. Данная модель наиболее показательна на примере углеродистых сланцев, которые обладают высоким кларком Re - 0,3–0,8 г/т [Юдович, Кетрис, 1994].

В качестве первичного источника рения рассматривается несколько вариантов: поступление в бассейн в составе растворов с окружающей палеосуши; в составе пеплов; поступление из глубин в составе подводных низкотемпературных эксгаляций, сопровождающих проявление подводного вулканизма.

Согласно [Юдович, Кетрис, 1988; 2011], формирование горючих сланцев на этапе седиментогенеза и раннего диагенеза обусловлено следующими тремя факторами: объем поступления терригенного материала из источников сноса; биопродуктивность бассейна, связанная с обильным привнесом биофильных элементов (P, N, Fe, C, Si и др.) и органического вещества; фоссилизация органического вещества, обусловленная развитием аноксических условий на границе вода – осадок в процессе седиментогенеза и раннего диагенеза и консервацией ОВ.

Многие исследователи [Юдович, Кетрис, 2011; Hade, Soesoo, 2014; Hatch, Leventhal, 1992; Hints et al., 2014b; Voolma et al., 2013] связывают высокое содержание рения и других металлов в горючих сланцах с высокой степенью фоссилизации ОВ. Это объясняется тем, что в низших степенях окисления Re сульфофилен (реагирует с сульфатными группами – SO₃) и практически не способен к миграции, тогда как в окислительной среде (в виде перренат-иона) он легко растворяется и труднее сорбируется в осадке. В современных осадках океана рений накапливается только в восстановительных обстановках. Он извлекается из наддонных и иловых вод и фиксируется в форме слабо растворимых соединений, где Re находится в низших валентностях [Юдович, Кетрис, 2011].

Сингенетическое накопление рения в углеродистых осадках согласно [Юдович, Кетрис, 1994, и др.] происходит следующим образом: образование органических ренийсодержащих соединений (форма Reорг), по-видимому, порфиринового типа. По аналогии с порфиринами можно допустить, что этот процесс требовал предварительного восстановления рения, например, до валентности +6 (ReO₂²⁺, напоминающий уранил-ион). Сероводородное заражение наддонных вод, восстановительный характер среды, а также наличие H₂S в избытке способствовало формированию в осадках ReS₂ (Re сульф) интенсивнее, чем MoS₂ благодаря более высокой тиофильности Re⁴⁺ чем у Mo⁴⁺.

Решающую роль в формировании металлоносности битуминозных и горючих сланцев, играет фактор фоссилизация органического вещества, обусловленная развитием

аноксических условий на границе вода – осадок [Voolma et al., 2013]. Это касается диктионемовых сланцев сформированных в условиях мелководной обстановке при широком развитии аноксии в придонной части бассейна [Hints et al., 2014a]. Аналогичная ситуация установлена для металлоносных позднекаменноугольных пенсильванских горючих сланцев Северной Америки также сформированных в аноксических условиях [Hatch, Leventhal, 1992].

Горючие сланцы Волжского бассейна также образовались в период развития аноксических условий осадконакопления. Так, согласно исследованиям [Разрез..., 2004; Гаврилов, 1994; Букина, 2013; Galiakberov et al., 2018; Илясов, 2020; Илясов, Староверов, Илясов, 2024], развитию аноксических условий способствовали высокое содержание ОВ и рост палеотемператур в атмосфере, трансгрессия и, как следствие, мобилизация и поступление большого объема биофильных элементов в конечный водоем стока. Причиной образования бескислородной среды служил резкий рост содержания ОВ.

Развитие геохимических барьеров, а именно аноксических условий, в придонной зоне водной толщи позволяло улавливать и извлекать ряд металлов из воды, в том числе молибдена и рения.

Таким образом, металлоносности горючих сланцев (на Re, Mo, V, Ni, U и др.) способствовало развитие аноксических условий в период формирования сланцев.

Накопление рения по аналогии с ураном, вероятнее всего, происходило и при участии живых организмов. Хорошо известно о прижизненном накоплении урана в тканях живых организмов, и, в частности, в тканях рыб [Блох, Коченов, 1964; Неручев, 1982]. Уран (вероятнее всего, и рений) находящийся в придонных водах палеобассейна мог фиксироваться в осадках на отмерших остатках организмов. Хорошо известно, что рений обладает органофильными свойствами и накапливается в тканях растений. Так среднее содержание рения в сухой массе растений составляет 0,001 г/т. В золе травянистых растений (в частности, род *Astrogalus*), произрастающих на территории распространения урановых ренийсодержащих руд плато Колорадо (США), содержание Re составляет до 300 г/т [Иванов, 1997]. Рений интенсивно накапливается в растениях, произрастающих на месторождениях меди (в частности на Джекказганском месторождении, Казахстан), и отвалах руд и хвостохранилищах обогатительных фабрик. Re концентрируется в различных частях растений, но наибольшие его содержания фиксируются в листьях деревьев и зеленых наземных частях трав. Наиболее высокую способность к накоплению Re обладают растения семейства лебедовых. По сути растения представляют собой мощный «насос», извлекающий Re из почвы и накапливающий его в своих тканях. Содержание Re в золе растений, произрастающих на территории Джекказганского месторождения, составляет 1 г/т, а при их размещении на хвостохранилище могут достигать 10–170 г/т [Калинин, Файн, 1977].

Можно полагать, что осаждение (концентрирование) урана и рения в осадках палеобассейнов обогащенных органическим веществом происходит путем их адсорбции органическим, фосфатным и дисперстным алюмосиликатным веществом, а также их первичным накоплением в организмах (ихтиофауна и др.) или растений в процессе их жизнедеятельности.

Особенности распределения рения в *диктионемовых сланцах* и его связь с органическим веществом свидетельствуют о формировании оруденения на син-диагенетическом этапе. Первоначально из вод ордовикского морского бассейна в условиях аноксии шло осаждение Re, U и сопутствующих компонентов. Фиксация металлов происходила на восстановительном барьере, сформированном в илах, обогащенных органическим веществом, а также на глинистом материале.

В последние годы Г. А. Беленицкой [Беленицкая, 2008; 2010] обоснована новая «флюидная» модель формирования углеродистых сланцев, основным элементом которой является проявление сингенетичных углеводородных разгрузок в седиментационный бассейн, что приводит к вспышке продуктивности цианобактериальных сообществ и последующему накоплению углеродистых сланцев. На наш взгляд, применение этой модели для реконструкции формирования диктионемовых сланцев выглядит убедительным и может быть использовано, при создании генетических моделей в части формирования первичных концентраций рудных элементов на син-диагенетическом этапе. Таким образом, в качестве источника Re для диктионемовых сланцев можно рассматривать породы области сноса (южная часть Балтийского щита), поступающий в седиментационный бассейн вулканический материал и, возможно, сингенетичные углеводородные разгрузки.

Формирование ренийсодержащих залежей костного детрита в глинах майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен) связано с неоднократным проявлением вулканической деятельности (фумаролы, гидротермы, эксплозии) и образованием «оазисов жизни» по типу «черных курильщиков» в мелководной зоне, где наблюдался расцвет ихтиофауны. Вулканическая деятельность приводила к массовой гибели морских обитателей [Шарков, 2008]. Последующие неоднократный перемыв и переотложение костного детрита на склонах активизированных поднятий приводили к формированию рудных залежей. Осаждение рудных компонентов (и в том числе Re) из флюидов происходило на геохимических барьерах в осадках. Рудные компоненты (и в том числе Re), вероятнее всего поступали в составе подводных эксгаляций, сопровождающих подводные вулканические извержения.

Предложенная син-диагенетическая модель накопления рения реализовалась не только при формировании битуминозных и горючих сланцев, но и для других ренийсодержащих

объектов, обогащенных органическим веществом: залежей костного детрита в глинах майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен), и медистых сланцев.

Промышленные концентрации рения связанные с процессами его накопления в син-диагенезе установлены в следующих формациях: Ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах (диктионемовые сланцы Прибалтийского бассейна); Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом (месторождения в майкопских отложениях Калмыкии и на Мангышлаке).

Промышленные концентрации син-диагенезе определяются наличием органического вещества в осадках, масштабом процесса и его длительностью, а также сохранностью сформированных залежей.

Кроме того, вероятнее всего, первичное накопление рения на стадии син-диагенеза было реализовано при формировании следующих ренийсодержащих формаций: Урановая в угленосных отложениях (Брикетно-Желтухинское м-е, Бельское); Молибденовая в пестроцветных отложениях (Печорское проявление и др.) и в меньшей степени – Каменноугольная (угли Донбасса). Далеко не всегда это можно точно установить.

6.3.2. Эпигенетическая модель

Эпигенетическая модель накопления рения проявляется на постседиментационном этапе в проницаемых зонах осадочного чехла, расположенных в зоне влияния окислительных процессов. Здесь возможна миграция рения в составе окислительных подземных вод и его осаждение с молибденом и ураном на восстановительном и сорбционном геохимическом барьере.

Ренийсодержащие формации ВЕП, сформированные в эпигенетическом процессе: Урановая в угленосных отложениях; Молибденовая в пестроцветных отложениях; Урановая терригенная палеодолин, а также в меньшей степени: Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная, Каменноугольная; Медистых песчаников и сланцев.

Источники рения в эпигенетическом процессе (гипергенного типа) разнообразны. Это могут быть проницаемые породы, содержащие рений в незначительном количестве через которые происходит фильтрация окислительных вод, под влиянием которых рений мобилизуется и с подземными водами движется до геохимического барьера.

В качестве первичного источника рения для ряда эпигенетических объектов, кроме магматических пород и рудных образований, содержащих рений в легкоподвижной форме, могут выступать ренийсодержащие, черные сланцы (а также, вероятно, и угли [Юдович, Кетрис., Мерц, 1985]) в которых он находится в относительно легкоподвижном состоянии (форма Re орг (соединения рения с органическим веществом) существует как в составе первичных соединений порфиринового типа, так и вторичных (гипергенных) образований

типа альгаритов [Юдович, Кетрис, 1996]) и из которых в приповерхностных окислительных условиях выветривания могли мобилизоваться, мигрировать (в виде растворимых перренатов и эфимерного оксида Re_2O_7) и повторно отлагаться в случае наличия на пути миграции благоприятных условий для осаждения.

Процессы перераспределения рения в эпигенезе в современную эпоху, можно продемонстрировать на примере диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна (ренийсодержащая формация - ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах). Здесь заметно перераспределение урана и рения в верхней части залежи (пласта сланцев), что связано с движением подземных вод по сланцам, как по водоупору. По данным [Иванова, Грушевой, 2009; ГГК О-35, 36..., 2010] возраст настурана из диктионемовых сланцев, составляет 70 млн лет (поздний мел), что может маркировать этап эпигенетического перераспределения «первичных концентраций» урана и, вероятнее всего, рения, в толще диктионемовых сланцев в позднемеловую эпоху.

В осадочном чехле ВЕП выделено восемь ураноносных эпох: V₂, O₁, D, C₁, P-T, T-J, K-Р, N-Q, проявившихся по всей территории платформы и соответствующих по времени ее структурным перестройкам и перерывам в осадконакоплении. Наиболее ярко выражены мезозойские (T-J и K-Р) эпохи. Последние привели к перераспределению первичных (как правило, низких) концентраций урана и, вероятнее всего, и рения [Иванова, Грушевой, 2009].

В качестве причины формирования геохимического барьера в проницаемой толще можно учесть рениеносные битумоиды, область распространения которых часто пространственно совмещены с областями распространения ренийсодержащих медистых песчаников (Предуралье, Джекказганское месторождение).

В зоне гипергенеза рений благодаря легкой окисляемости Re^{4+} до перрената ReO_4^- и высокой растворимости большинства солей рениевой кислоты в воде. В окислительной и даже слабовосстановительной среде перренат, весьма подвижен и может интенсивно выщелачиваться из тех источников эндогенных минералов, где он находится в форме Re^{4+} .

В природе рений встречается в виде соединений со степенью окисления +4 (например, ReS_2 , CuReS_4). Рений весьма подвижный химический элемент и легко мигрирует в водных растворах в кислородных условиях земной поверхности. Все соли рениевой кислоты, кроме перренатов калия, цезия, рубидия, таллия и серебра, и его высший оксид Re_2O_7 обладают хорошей растворимостью, что определяет его высокую миграционную способность.

Способность Re осаждаться из пластовых вод в виде ReS_2 совместно с U в более восстановительных условиях, чем Se, и менее чем Mo, приводит к его зональному распределению в рудных зонах инфильтрационных месторождений. Данные по рениеносности инфильтрационных комплексных урановых руд свидетельствуют, что в них

Re ассоциирован не столько с Mo, сколько с U [Максимова, Шмариович, 1993; Кисляков, Щеточкин, 2000]. В большинстве месторождений этого типа Re в зональном ряду металлов находится между U и Mo, и часто в разрезе пластов рениевое оруденение имеет бóльшую мощность, чем U. Содержание Re в составе руд – около 0,06–0,2 г/т. В зоне рядовых и богатых руд – от 0,4–5 до 10–18 г/т.

Инфильтрационные эпигенетические месторождения урана (часто с попутным содержанием Mo, Se, Re, V, Sc) известны под названиями «песчаниковый», «пластово-инфильтрационный», «экзогенно-эпигенетический» типы, а в англоязычной литературе именуемый «месторождениями песчаникового типа». Эти объекты является одним из существенных поставщиков урана в мире. К концу 50-х годов была разработана модель формирования месторождения «в песчаниках» Притяньшаньской провинции кислородными пластовыми водами: пластовые воды, обогатившись кислородом, ураном и другими компонентами в областях питания на горных поднятиях кристаллического фундамента, по мере продвижения к области разгрузки по пористым горизонтам платформенного чехла, постепенно расходуют кислород, «сбрасывая» уран при достижении критического значения e_h потенциала на окислительно-восстановительном барьере, который фиксируется по смене вторичной желтоцветной окраски пород на первичную сероцветную (Рисунок 6.3, 6.4).

Модель позволила более целенаправленно организовать поисковые работы и, в достаточно короткие сроки, выявить в Кызылкумском районе Узбекистана и смежных с ним областях Казахстана, целый ряд месторождений - Лявлякан, Букинай, Бешкак, Кенимех и др. На сегодняшний день запасы Притяньшаньской мегапровинции, включающей Центрально-Кызылкумскую, Сырдарьинскую и Чу-Сарысуьскую урановорудные провинции уникальны.

В конце 70-х годов прошлого столетия, разрабатываются методы эксплуатации урановых месторождений этого типа подземным выщелачиванием через скважины. Приблизительно к этому же времени относятся первые определения рения в откачных растворах при отработке месторождений Букинайской группы. С этого момента началось планомерное опробование на рений растворов выщелачивания. Первоначально определения рения производились только в пределах установленных молибденовых руд, позже было доказано, что рений в экзогенном процессе ведет себя аналогично урану и не требует для осаждения на границе пластово-окисленных пород столь высококонтрастного восстановительного геохимического барьера, как молибден. Последнее свидетельствовало о принципиальной возможности формирования промышленных накоплений рения в областях выклинивания зон пластовой лимонитизации, практически нацело лишенных молибдена и определило необходимость массового опробования руд в проницаемых породах на рений.

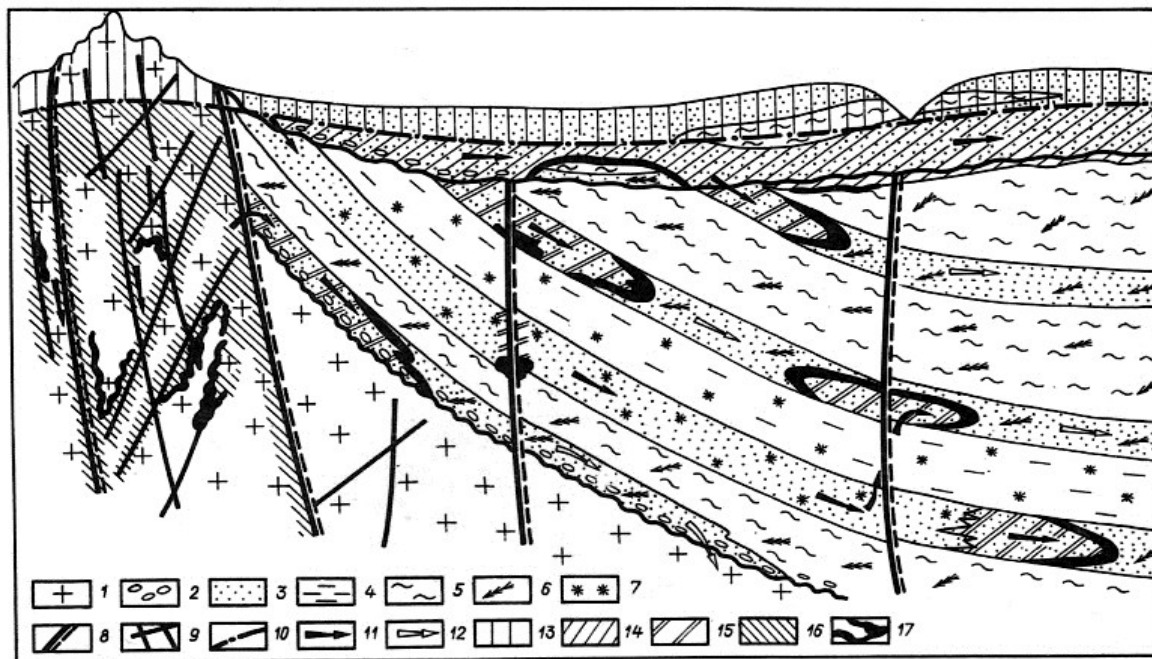


Рисунок 6.3. Принципиальная схема пространственного соотношения зон окисления и связанного с ними уранового (с Mo, Re, Se) оруденение на экзогенных эпигенетических месторождениях урана [Максимова, Шмариович, 1993]

1 – породы фундамента; 2 – гравийно-галечные породы; 3 – пески и песчаники; 4 – алевролиты; 5 – глины; 6 – первично-сероцветные породы с углистыми остатками; 7 – первично красноцветные породы; 8 – разломы; 9 – зоны трещиноватости; 10 – уровень подземных вод; 11,12 – направление движения подземных вод; 11 – кислородные ураноносные; 12 – бескислородные и не содержащие уран; 13-16 – зоны окисления: 13 – поверхностного, 14 – порового грунтового, 15 – порового пластового, 16 – трещинного; 17 – урановое оруденение.

На этих объектах урановые минералы (черни, настуран и др.) располагаются в водопроницаемых пластах песка или песчаника (гравийники и т. п.), иногда пористых карбонатных пород, заключенных между водонепроницаемыми пластами глин (песчано-глинистыми, алевролитовыми, карбонатными и т. п.). Рудные тела представляют собой изогнутые линзы («роллы»). Рудные тела образуются в результате перемещения насыщенных кислородом рудоносных растворов вдоль по водоносному пласту с выпадением в твердую фазу урановых и иных минералов на барьере, обусловленном появлением повышенного количества органики, сульфидов и т. п.

Руды рассматриваемых месторождений комплексные, кроме урана и рения содержат молибден, селен, ванадий, скандий, иттрий, лантаноиды и пр., но обычно бедные (0,00n-0,n% U).

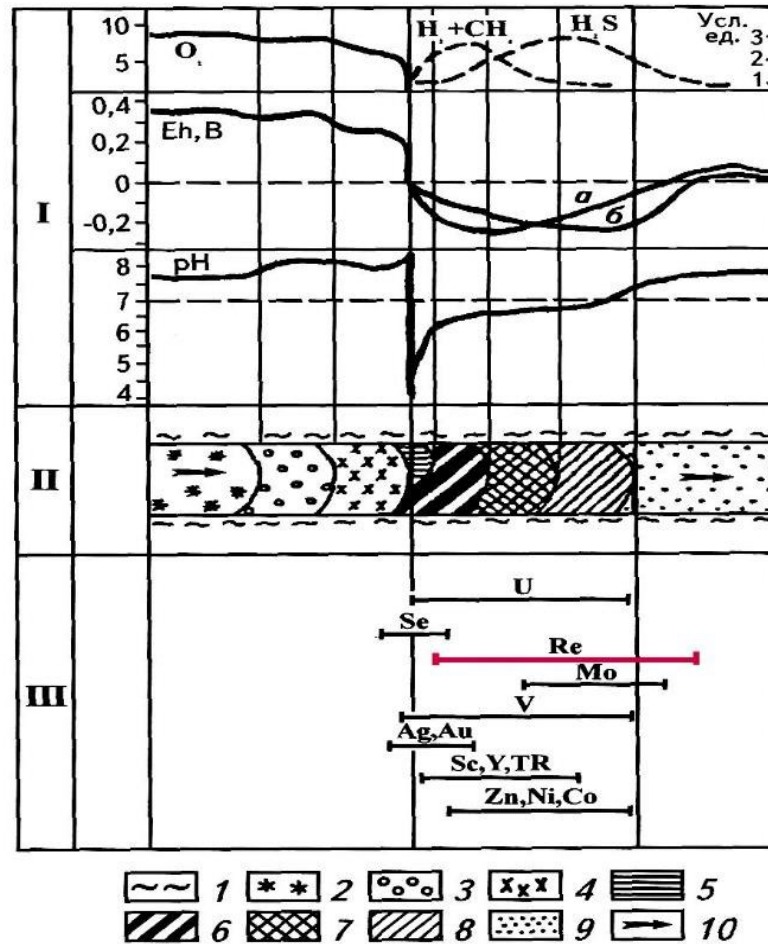


Рисунок 6.4. Профиль пластово-окислительной зональности [Кисляков, Щеточкин, 2000]
 I – гидрохимические параметры; II – эпигенетическая зональность; III – положение зон рудообразования. 1 – водоупорные глинистые отложения; 2–4 – зона пластовой лимонитизации с подзоной окисления; 2 – полного, 3 – неполного, 4 – частичного; 5 – подзона выноса урана с сохранением дисульфидов железа; 6–8 – зона уранонакопления с подзонами: 6 – «богатых» и рядовых руд, 7 – бедных руд, 8 – ореольных концентраций урана; 9 – зона безрудных сероцветных пород, 10 – направление инфильтрационного потока.

Средние содержания рения в месторождениях Центрально-Кызылкумской провинции составляют 0,8-2,0, редко до 15,0 г/т. Содержания рения в месторождениях Сырдарьинской и Чу-Сарысуйской провинций ниже и в основном 0,2-0,5, реже до 1,0, в среднем 0,4 грамма на тонну. Рений окаймляет урановое оруденение со стороны неизменных пород, повторяя его морфологию, как правило 70% запасов рениевых руд совмещено в плане с рудными площадями основного оруденения, 30% общих запасов рениевых руд принадлежат «мешкам», опережающим урановорудный ролл на 50-100 м. Такие руды оконтуриваются в отдельные самостоятельные блоки, они требуют отдельных расчетов возможной рентабельности.

В качестве попутного компонента, рений, с содержаниями от 0,2 до 21,0 г/т, присутствует и в месторождениях уран-угольного промышленно-генетического типа в Чу-

Сарысуйской провинции, однако, несмотря на значительные запасы основного компонента – урана, в промышленное освоение эти месторождения в ближайшее время не планируются в связи со сложностью и не разработанностью технологии переработки.

Хорошо известно, что повышенные содержания Re установлены в уран-полиэлементных эпигенетических месторождениях пластово-инфильтрационного типа в Притяньшаньской провинции [Максимова, Шмариович, 1993]. В работе [Халезов, 2009] приводятся данные о наличии рения в инфильтрационных урановых месторождениях на юго-западе Западно-Сибирской плиты (Далматовское и Добровольное месторождения).

Самостоятельным типом инфильтрационные месторождения является палеодолинных подтип, который локализуется в эрозионно-тектонических палеорусловых (палеодолинных) структурах, представляющих собой врезы в пенепленизированный кристаллический, складчатый фундамент или подстилающие стратифицированные образования. В размещении палеорусел проявляется связь с особенностями строения фундамента - развитие палеорусловых врезов вдоль границ пород разного состава, по тектонически ослабленным зонам разломов или вдоль них. Палеодолины выполнены проницаемыми углисто-глинисто-песчаными отложениями аллювиальных, овражно-балочных, пролювиальных и других фаций осадков, обогащенных органическим веществом. В плане рудные тела этих месторождений представлены извилистыми лентами, грубо повторяют форму палеодолин и приурочены к их верховьям. Оруденение, как правило, комплексное в котором совместно с ураном, содержания которого не превышают в среднем 0,00n-0,n%, фиксируются повышенные концентрации Mo, Se, Re, V, Ni, Co, Cu, Sc, лантаноиды и пр. Важным условием сохранности оруденения является захоронение вмещающих его отложений под молодыми трансгрессивными толщами.

Сами по себе месторождения не велики, но иногда они образуют группы сближенных объектов с довольно значительными суммарными запасами.

Выделяют два структурно-формационных типа месторождений урана в палеоруслах: базальный и внутриформационный.

К базальному типу относят месторождения, локализованные в палеорусловых структурах, врезанных в породы фундамента, возраст которого намного древнее отложений палеорусел. Месторождения внутриформационного типа приурочены к эрозионным и эрозионно-тектоническим палеорусловым структурам, заключенным в отложениях, близких к ним по возрасту (они могут принадлежать к одной геологической формации, хотя и представлены разными литолого-генетическими комплексами). Палеодолины сформированы на платформах, имеют большую ширину. Характерной чертой для них является меандрирование и частое ветвление. Они так же связаны с особенностями строения

фундамента, но эта связь выражена слабее, чем у палеорусел базального типа. Благоприятными условиями для формирования месторождений внутриформационного палеодолинного типа являются повышенные фоновые содержания урана в размываемой, насыщенной растительным органическим веществом рудовмещающей толще и меандрирование палеорусл, создающее весьма благоприятную геолого-геохимическую обстановку для локализации оруденения. Оруденение формируется на многих участках палеодолины, но наиболее благоприятными являются участки развития старичных и пойменных отложений непосредственно в зонах их перехода в русловые песчаники - контакт пород с высокой проницаемостью и высокой сорбционной и восстановительной способностью.

Руды подавляющего большинства палеодолинных месторождений и проявлений урана на наличие в них рения систематически не изучались, тем не менее, там, где проводилась аналитика на рений, он был обнаружен. Отмечается крайне неравномерное его распределение в руде: на одних объектах повышенные концентрации рения приурочены к богатым ураном рудам, содержащим большое количество дисульфидов железа, в других рений обнаруживает повышенные концентрации и там, где отсутствуют полностью или частично значимые концентрации основных сопутствующих компонентов – урана и молибдена.

Палеодолинные месторождения Зауралья обладают реальными промышленными концентрациями попутного рения, его ресурсы оценены и составляют на месторождениях Далматовском и Добровольном около 30 тонн при средних содержаниях 0,7-1,0 г/т, максимум 11,6 г/т. Наиболее значительные концентрации рения [Халезов, 2003] устанавливаются сразу за зоной пестроцветно-окисленных пород и совпадают с зоной богатого уранового оруденения.

В Забайкальских урановых месторождениях (Хиагдинское и др.) в радиоактивных пробах так же присутствует рений, максимальные содержания которого достигают 0,8 г/т. Более значимых концентраций не выявлено. Ресурсный потенциал рения до сих пор должным образом не оценен.

Проявление эпигенетических (инфильтрационных и эксфильтрационных) процессов *в осадочном чехле ВЕП* своеобразно и во многом определяется отсутствием в обрамляющей «рамe» орогенных областей мезозойского и кайнозойского возраста, что не позволяет ожидать масштабного проявления окислительного эпигенетического рудообразующего процесса, связанного с масштабными зонами пластового окисления по аналогии с Притяньшанской провинцией [Грушевой и др., 1999]. Но, при этом в осадочном чехле ВЕП значительный интерес вызывают палеодолины (палеодепрессии) в разновозрастных

(палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста) отложениях осадочного чехле, которые потенциально являются структурами для локализации инфильтрационного оруденения сформированного зонами грунтово-пластового и грунтового окисления. Для прогнозирования таких рудовмещающих структур выделяется ряд признаков: наличие стратиграфических несогласий, структурные (приуроченность к флексурным перегибам), геоморфологические (изгибы палеодолин, углубление ложа, террасы, карстовые явления), состав отложений, выполняющих палеодолины, обогащенность их органическим веществом (углистого детрита, бурые угли и торф). Особое значение имеет сохранность рудных залежей данного типа от разрушения более поздними процессами.

Для *Балковского месторождения* урана (ренийсодержащая формация урановая терригенная палеодолин) расположенного в низовьях палео-Дона [Расулова, Тарханова, Каминов, 2008] источником урана и рения являются отложения майкопской серии, в кровле которых проявлена зона поверхностного окисления, свидетельствующая о перерыве в осадконакоплении. Их выветривание в областях поднятий приводит к образованию легкоподвижных соединений, которые в дальнейшем мигрировали с подземными водами и отлагались на геохимических барьерах, формируя рудные залежи.

Промышленные концентрации рения связанные с процессами его накопления в эпигенезе установлены в следующих ренийсодержащих формациях: Урановая в угленосных отложениях (Брикетно-Желтухинское, Бельское) и в меньшей степени формация каменноугольная (угли Донбасса). Типичным примером эпигенетического объекта в осадочном чехле ВЕП является Re-Mo-U Брикетно-Желтухинское месторождение [Карась и др., 2015ф; Енгальчев, 2019г; Викентьев, Кайлачаков, 2020].

Анализ материалов свидетельствует о том, что поздние эпигенетические преобразования проявлены на ряде ренийсодержащих объектов в осадочном чехле ВЕП (ренийсодержащая формация - урановая в угленосных отложениях; фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом; ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; каменноугольная), часть из которых имеет промышленное значение.

В осадочном чехле ВЕП проявлены не только инфильтрационные, но эксфильтрационные процессы, связанные с вертикальной разгрузкой подземных вод и флюидов. Источником вещества для них являются глубокозалегающие комплексы пород, из которых Re в составе подземных вод (часто ассоциированных с углеводородами) поступал в зоны эксфильтрации (приуроченные к тектоническим нарушениям) и далее в ходе своего движения фиксировался на барьерах.

Характерным объектом данного типа является Репьевское уран-битумное месторождение. Оно располагается в зоне вертикальной разгрузки термальных вод из

палеозойских отложений. Можно предполагать два источника рения: поступление из глубоких горизонтов в составе термальных вод; из углеводородов, обогащенных рением.

Ренийсодержащее уран-битумное оруденение Репьевского месторождения по вещественному составу и условиям формирования близок к ренийсодержащим урановым месторождениям, ассоциированным с разрушающимися нефтяными залежами (урановых месторождениях плато Колорадо (США), месторождения Амброзия-Лейк, Фронт-Рейнд, Гэс-Хиллс, Биг-Индиан и др.

Промышленные концентрации рения, связанные эпигенетическими процессами установлены в следующих формациях: Урановая в угленосных отложениях (Ре-Мо-У Брикетно-Желтухинское и Бельское) и в меньшей степени формация каменноугольная (угли Донбасса). Анализ материалов свидетельствует о том, что поздние эпигенетические преобразования проявлены на ряде объектов, следующих формаций: урановая в угленосных отложениях; фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом; ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах; каменноугольная.

Таким образом, можно заключить, что формирование промышленных концентраций рения в породах осадочного чехла Восточно-Европейской платформы определяются интенсивностью проявления и совмещением процессов массообмена в син-диагенезе, когда рений из придонных вод накапливался в осадках, обогащенных органическим веществом, и эпигенеза, когда в проницаемых зонах он мигрировал в окислительных подземных водах и осаждался вместе с молибденом и ураном на восстановительном и сорбционном барьерах.

Заключение

Впервые собраны и обобщены литературные и фондовые материалы по ренийности осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (как по территории Российской Федерации, так и соседних государств, расположенных на Восточно-Европейской платформе).

В осадочном чехле региона располагаются разновозрастные углеродистые (битуминозные и горючие) сланцы, угли и высоковязкие нефти и битумы Волго-Уральской нефтегазоносной области, имеющие «рениевую специализацию» по сравнению со сходными образованиями других платформ, что с известной долей условности, может указывать на «зараженность» рением осадочного чехла региона.

Авторские материалы, положенные в основу данной работы, характеризуют все основные ренийсодержащие формации, развитые в породах осадочного чехла региона. В этот массив данных вошли результаты исследований, в рамках работ ФГБУ «Институт Карпинского» по составлению ГК-1000/3 (листы N-38 – Москва, O-35, 36 – Санкт-Петербург – Псков), N-38 – Пенза, N-39 – Казань), ГК-200 (Холмская площадь, O-36-XXVI); а также в рамках геологоразведочных работ ФГБУ «ИМГРЭ» и ГП «Кольцовгеология»; получены новые данные о содержании и особенностях размещения Re в ряде эталонных объектов (углеродистых сланцах, медистых песчаниках, органогенно-фосфатных уран-редкометалльных рудах и эпигенетических урановых объектах) на территории Ленинградской, Новгородской, Псковской, Рязанской, Калининградской, Ярославской, Костромской областей, а также Калмыкии, Татарстане и Коми.

В работе использованы результаты геологоразведочных работ, ориентированных на поиски рениевого оруденения на северо-западе Русской плиты (диктионемовые сланцы нижнего ордовика; работы ФГБУ «Институт Карпинского» 2012–2014 гг.), в центральном районе Русской плиты (Бельское и Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U месторождения в угленосных отложениях Подмосковного бассейна; работы ФГБУ «ИМГРЭ» 2008–2015 гг.) и на территории вала Карпинского (месторождения органогенно-фосфатного уран-редкометалльного типа в отложениях майкопской серии; работы ГП «Кольцовгеология» 2011–2013 гг.).

Автором выполнены литологические, петрографические и минералого-геохимические исследования различных ренийсодержащих объектов с использованием современного аналитического оборудования (в том числе, позволяющих определять содержание рения с высокой чувствительностью). Получен массив аналитических данных по авторским пробам,

в которых был определен не только рений, но и его элементы-спутники Mo, Cu, U, Co, Cr, Se, Sc, V, а также Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Sr, Ba, As, REE, Y, Cd, Ga, Ge, Tl, Sb, Ag, Th, Bi, Hg и петрогенных оксидов (Fe_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2).

В работе на единой методологической основе обобщены все имеющиеся литературные, фондовые и авторские материалы. Выделены и охарактеризованы ренийсодержащие рудные формации, определен их вещественный состав, особенности локализации и условиям формирования, выявлены пространственно-временные закономерности их размещения в осадочном чехле ВЕП.

В данном исследовании реализован методологический подход к оценке ренийности осадочных комплексов чехла платформенных областей, предусматривающий представление о проницаемости осадочного чехла, его неразрывной историко-геологической и структурно-тектонической связи с фундаментом и значимой роли тектонических нарушений, являющихся каналами для вертикальной миграции флюидов.

Для выявления особенностей размещения рениевого оруденения привлекались многочисленные материалы по геологическому строению региона, истории его развития, тектонике, вещественному составу и пространственно-временной изменчивости состава отложений осадочного чехла, а также приуроченным к нему полезным ископаемым.

Впервые для ряда объектов различных ренийсодержащих формаций установлены формы нахождения рения (подвижные и минеральные формы).

В чехле Восточно-Европейской платформы выделены ренийсодержащие рудные формации, от ордовика до миоцена: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, горючих сланцев, молибденовая в пестроцветных отложениях, каменноугольная, урановая в угленосных отложениях, битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная, медистых песчаников и сланцев, урановая терригенная палеодолин, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом. Наибольшее промышленное значение имеют урановая в угленосных отложениях, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, каменноугольная.

В разрезе осадочного чехла ВЕП наблюдается закономерная картина распределения ренийсодержащих формаций по историко-геологическим этапам. Наиболее разнообразный комплекс ренийсодержащих формаций установлен в верхнепалеозойских отложениях ВЕП (позднегерцинский этап). Причина такого разнообразия, можно полагать связана с позднедевонско-раннекаменноугольной активизацией погребенного древнего фундамента, проявлением в породах данного возраста эпигенетических (инфильтрационных и

эксфильтрационных) процессов, разрушением (и преобразованием) находящихся в породах углеводородных залежей и другими причинами.

Региональный контроль в размещении ренийсодержащих формаций определяется: положением осадочных палеобассейнов, содержащих горизонты, обогащенные органическим веществом; наличием погребенных рифтогенных структур в фундаменте и проявлением эпигенетических процессов окислительно-восстановительного типа.

В результате анализа данных была установлена пространственная связь в размещении различных ренийсодержащих формаций и региональных протяженных рифтогенных тектонических структур (авлакогенов). В центральных районах ВЕП рифейские авлакогены представляющие собой долгоживущие структуры «надразломного» типа, а на южной периферии региона - это палеозойская Припятско-Доно-Мангышлакская складчатая система. Так, например, верхнеюрских сланцы (ренийсодержащая формация горючих сланцев) Яренгского района располагается над осевой зоной Керецко-Лешуконского авлакогена и в зоне его сочленения с ортогональным к нему Котлас-Яренгским авлакогеном северо-восточного простирания; Сысольского района располагается в краевой части Вятско-Кажимского авлакогена; Калининградский район расположен над рифтом-грабенем в фундаменте Балтийской синеклизы.

Такая связь определяется специфическим тектоническим, а главное «флюидным» режимом территории и повышенной проницаемостью осадочного чехла. Так, над погребенными рифтовыми зонами, на различных этапах развития территории часто формируются впадины, а в осадочном чехле образуются участки повышенной трещиноватости проницаемые для флюидов. Активность таких зон на ряду с другими факторами может влиять на биопродуктивности седиментационных бассейнов (или их частей) за счет седиментогенной разгрузки флюидов. В таких зонах совместно с другими редкими элементами рений мог поступать в бассейн в составе металлоносных растворов, и фиксироваться в осадках, образуя первичные син-диагенетические накопления. Источником металлов в составе флюидов могут быть воды, мобилизованные из пород в процессе катагенеза. Процесс поступления флюидов из глубин по проницаемым зонам проявлялся неоднократно, в связи с чем происходило многократное перераспределение рения и других редких элементов в осадочном чехле.

Таким образом, **в периферийных, отдалённых от центра, частях чехла Восточно-Европейской платформы распространены формации: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах (нижний ордовик), каменноугольная (карбон), битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (верхний карбон), урановая терригенная палеодолин (пермь, миоцен), медистых песчаников и сланцев (пермь),**

горючих сланцев (верхняя юра) и фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом (олигоцен-миоцен). В центральной части платформы располагаются формации: молибденовая в пестроцветных отложениях (верхний девон) и урановая в угленосных отложениях (нижний карбон). Региональный контроль в размещении формаций определяется: положением осадочных палеобассейнов, содержащих горизонты, обогащенные органическим веществом; наличием погребенных рифтогенных структур в фундаменте и проявлением эпигенетических процессов окислительно-восстановительного типа.

С использованием критериев прогнозирования выполнен региональный металлогенический анализ осадочного чехла ВЕП на рений.

Разработаны критерии прогнозирования рениевого оруденения в осадочном чехле ВЕП образуют шесть групп:

- структурные критерии включают разрывные нарушения (I, II порядка); кольцевые структуры (I, II порядка); зоны тектонической нарушенности в осадочном чехле и фундаменте (зоны проницаемости); сводовые поднятия в осадочном чехле; авлакогены (погребенные рифты);

- литологические критерии, включают специализированные и потенциально специализированные на рений породы: углеродистые сланцы; угли (угленосные толщи); медистые песчаники и сланцы; битумы (в том числе металлоносные); нефтяные залежи (в том числе металлоносные);

- палеогеоморфологические критерии – палеодолины различного возраста;

- гидрогеологические критерии – подземные воды с повышенным содержанием йода, брома и рения; зоны эксфильтрации и разгрузки подземных вод, в том числе содержащих углеводороды; термальные воды;

- геохимические критерии – ореолы урана, молибдена, селена, ванадия, гелия, ртути;

- рудные критерии – пункты минерализации, проявления и месторождения рения; проявления и месторождения различных типов, содержащие рений.

В результате проведенного регионального металлогенического анализа на территории развития осадочного чехла Восточно-Европейской платформы выделено четыре перспективные потенциально-рениеносные области – Ижорская, Среднерусская, Волго-Уральская, Донецко-Манычская. Для Ижорской области, приуроченной к Балтийско-Ладожской моноклинали, типичны проявления ванадий-молибден-урановой формации (диктионемовые сланцы нижнего ордовика Прибалтийского бассейна). Для Среднерусской области, расположенной в Московской синеклизе, характерны месторождения и проявления формации урановая в угленосных

отложениях (Брикетно-Желтухинское и Бельское месторождения в нижнем карбоне Подмосковского бассейна). Волго-Уральская область приурочена к одноименной антеклизе и ее типичными формациями являются: формация горючих сланцев (горючие сланцы, верхняя юра) и битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная (Репьевское уран-битумное месторождение, Жигулевский вал). Донецко-Маньчская область, приурочена к Припятско-Дона-Мангышлакской палеорифтовой системе. Для нее типичны формации: фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом (группа месторождений и проявлений в майкопских отложениях вала Карпинского), каменноугольная (угли среднего-верхнего карбона восточного Донбасса). Наиболее перспективными на промышленное освоение являются Среднерусская и Донецко-Маньчская области.

Выделенные металлогенические таксоны регионального уровня – потенциально рениеносные металлогенические области отвечают крупным элементам строения территории – синеклизам, антеклизам, моноклиналям. Так, например, Ижорская ПРМО приурочена к Прибалтийско-Ладужской моноклинали, Среднерусская ПРМО к Московской синеклизе, Волго-Уральская ПРМО к Волго-Уральской антеклизе, а Донецко-Маньчская ПРМЗ к линеamentу Карпинского. Подразделения более низкого ранга – потенциально рениеносные районы занимают части синеклиз, антеклиз или фрагменты моноклиналей и седловин.

В работе дана характеристика геологического строения и рениеносности каждого металлогенического таксона с описанием потенциально рениеносных уровней разреза. Определен металлогенический потенциал каждого из выделенных областей и районов. При этом суммарный металлогенический потенциал Re осадочного чехла платформы определен в размере 17 185 т.

В осадочном чехле региона выделены территории, где ренийсодержащие оруденение различных формационных типов локализовано на нескольких разновозрастных уровнях разреза, образуя многоуровневые системы. В качестве примера рассматриваются: Центральная часть Волжского ПРР, Калмыкский ПРР, Донецко-Шахтинский ПРР. Вероятнее всего, многоуровневые рудные системы (в данном случае, с ренийсодержащим оруденением) реализованы на территории Лужского ПРР, а также в южной части Волго-Уральской ПРМО.

В качестве критериев для выделения многоуровневых систем выступает комплекс признаков, включающий историю развития и особенности геологического строения территории, рудоносность (в том числе угленосность, сланценосность, битуминозность), нефтегазоносность, тектоническую нарушенность осадочного чехла и особенности проявления гидрогеологических процессов и многое другое.

Установлено, что некоторые ренийсодержащие формации, в особенности, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, горючих сланцев, медистых песчаников и сланцев, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом тяготеет к осадочным комплексам, обогащенным органическим веществом и в их размещении существенное значение имеют литологический контроль и приуроченность к определенному типу пород или стратиформной минерализации.

В работе созданы и охарактеризованы геолого-генетические модели формирования для каждой из выделенных ренийсодержащих формаций. В качестве первичного источника рения в моделях рассматривается несколько вариантов: поступление в бассейн в составе растворов с окружающей палеосуши; в составе пирокластики (пеплы); поступление из глубин в составе подводных низкотемпературных эксгаляций, сопровождающих проявление подводного вулканизма. После поступления Re в водную среду палеобассейна, происходило его фиксация на «восстановительном барьере» в илах, обогащенных органическим веществом, а также осаждение на глинистом веществе. При этом на более поздних этапах возможно перераспределение Re в пределах рудовмещающих отложений.

Надо сказать, что в платформенных областях проявление инфильтрационного эпигенеза имеет свои особенности и отличается от классических объектов Притяньшанской провинции, расположенных близи орогенных областей, создающих условия для постоянного поступления пресных вод, богатых кислородом. Отрицая масштабность проявления эпигенетических инфильтрационных процессов в регионе, можно допустить проявление локального грунтово-пластового рудного процесса, результатом которого могут стать ренийсодержащие рудные объекты.

Установлено, что промышленные концентрации рения в породах осадочного чехла платформы определяются интенсивностью проявления и совмещением процессов массообмена в син-диагенезе, когда рений из придонных вод накапливался в осадках, обогащенных органическим веществом, и эпигенеза, когда в проницаемых зонах он мигрировал в окислительных подземных водах и осаждался вместе с молибденом и ураном на восстановительном и сорбционном барьерах.

Исходя из изученности территории на Re, масштабности проявления ренийсодержащих формаций, геологических обстановок локализации оруденения, а также благоприятных горно-геологических условий, в настоящее время в качестве наиболее перспективных выделяются:

1. Южная часть Среднерусской ПРМО, где располагаются полигенные Re-Mo-U объекты, приуроченные к угленосным отложениям Подмосковского буроугольного бассейна (Брикетно-Желтухинское, Бельское Re-Mo-U месторождения). Здесь располагается ряд Mo-U

проявлений, не опробованных на рений. Высока вероятность выявления новых Re-Mo-U рудных объектов с богатыми рудами, аналогичных залежам Re-Mo-U Брикетно-Желтухинского месторождения. Их освоение возможно методом скважинного подземного выщелачивания.

2. *Донецко-Шахтинского ПРР*. На территории Восточного Донбасса вблизи зон секущих тектонических нарушений развиты каменные угли, обогащенные рением (до 0,7 г/т). В данном районе высока вероятность выявления новых участков с ренийсодержащими углями. В регионе работает несколько фабрик по обогащению углей (Гуковская, Центральная, Аютинская и др.), в промышленных водах и отходах которых фиксируются повышенные концентрации рения. Последнее позволяет надеяться на то, что при наличии технологии возможно попутное извлечение этого редкого металла.

3. *Калмыкский ПРР*. Здесь рений присутствует в составе органогенно-фосфатно-редкометалльных руд и в составе уранового (инфильтрационного) оруденения в песчаниках миоценовых палеоврезов. Основные перспективы района связаны с рудами первого типа. В случае отработки этих месторождений при глубокой переработке комплексных руд на уран и редкоземельные металлы возможно попутное извлечение Re. Первыми для освоения рассматриваются месторождения неглубокого залегания, пригодные для открытой отработки и скважинной гидродобычи: Шаргадык-Богородское рудное поле, Северо-Восточная часть Багабурульского рудного поля.

4. *Волжский, Яренгский и Лужский ПРР*. В этих районах широко развиты углеродистые сланцы, содержащие Re на уровне 0,12-0,14 г/т. Высока вероятность выявления в сланцах прослоев (или зон) с повышенными содержаниями рения. Требуется разработка технологии извлечения рения из углеродистых сланцев.

Значительный интерес вызывают оценка на рений залежей углеводородов (нефти и битумы) Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, которые имеют рениевую специализацию. Это же касается термальных вод и рассолов региона, пока не исследованных на рений.

Рениевые объекты на европейской части России по сравнению с объектами на других территориях характеризуются доступной транспортной и энергетической инфраструктурой. Это важный параметр в связи с высокими затратами на извлечение Re, содержание которого рудах, как правило, невысокое. Минимизация этих затрат может являться ключевым критерием для определения рентабельности производства.

Таким образом, проведенный в работе анализ разноплановых материалов свидетельствует о наличии нереализованного ресурсного потенциале территории на рений, что в сочетании с развитой инфраструктурой и благоприятными горно-геологическими

условиями объектов дают основание рассматривать чехол ВЕП в качестве значимого элемента для расширения минерально-сырьевой базы рения РФ. Выполненный сравнительный анализ перспективных объектов с оценкой их значимости и очередности освоения позволил наметить первоочередные доступные для освоения объекты. Освоение объектов в настоящее время связано с необходимостью разработки эффективных технологий извлечения рения из различных типов руд.

В результате обобщения разнообразных материалов и металлогенического анализа на Re выделен и детально охарактеризован ряд потенциально рениеносных металлогенических областей и районов, перспективных на обнаружение рениевого оруденения. Определен металлогенический потенциал Re осадочного чехла Восточно-Европейской платформы. Полученный опыт металлогенических исследований и, в частности, разработанная типизация рениевого оруденения в осадочных комплексах чехла найдут применение при оценке рениеносности других платформенных областей.

Представленные в работе материалы по особенностям формирования ренийсодержащих рудных формаций и пространственно-временные закономерности их размещения на территории развития осадочного чехла ВЕП, а также реализованные подходы к проведению металлогенического анализа на рений найдут применение для разработки теоретических основ оценки рениеносности осадочных комплексов платформенных областей, металлогении осадочных бассейнов и региональной геохимии рения. Полученные материалы могут быть использованы как для планирования специализированных геологоразведочных работ на рений, так и для выделения объектов под геолого-съёмочные работы масштаба 1:200 000. Полученные данные можно использовать как для прогнозирования ренийсодержащих объектов на территории других платформ со сходным геологическим строением.

Список принятых в работе сокращений

ВЕП – Восточно-Европейская платформа

МСБ – минерально-сырьевая база

ОВ – органическое вещество

ПРМО – потенциально рениеносная металлогеническая область

ПРР – потенциально рениеносный район

РЗМ – редкоземельные металлы

СПВ – скважинное подземное выщелачивание

Литература

1. Альтгаузен М. Н. Металлоносные черные сланцы венд-нижнепалеозойского возраста // Oil Shale (Горючие сланцы). Вып. 9, № 3. – Таллин, 1992. – С. 194–207.
2. Альтгаузен М. Н. Урановое оруденение Прибалтики / М. Н. Альтгаузен, Ц. Л. Гольштейн, Т. Н. Давыдова // Месторождения урана СССР. Т. 2. Вып. 1: Осадочные месторождения. – М., 1967. – С. 278–316.
3. Аплонов С. В., Лебедев Б. А. Нафторудогенез: пространственные и временные соотношения гигантских месторождений / науч. ред. Д. В. Рундквист. – М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
4. Афанасьев Г. В. Линеамент Карпинского: новый взгляд на историю развития и особенности минерации // Региональная геология и металлогения. – 1997. – № 7. – С. 58–70.
5. Балахонова А. С. Геолого-экономическая оценка металлоносности диктионемовых сланцев и оболовых песчаников Прибалтийского бассейна / А. С. Балахонова, В. И. Вялов, И. А. Неженский, Е. В. Семенов, М. В. Мирхалевская // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 88–93.
6. Балахонова А. С. Рениевое оруденение в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна (рудного района) Ленинградской области: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.11. – СПб., 2014. – 125 с.
7. Баситова С.М. Рений в горючих сланцах / С. М. Баситова, Е. Ф. Засорина, О. Д. Азизкулова // Докл. АН ТаджССР. – 1972. – № 8. – С. 41–44.
8. Батурин Г.Н. Сравнительная геохимия ракушечных фосфоритов и диктионемовых сланцев Прибалтики / Г. Н. Батурин, А. В. Ильин // Геохимия. – 2013. – № 31. – С. 27–37.
9. Беленицкая Г. А. Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // Природа. – 2010. – № 2. – С. 25–34.
10. Беленицкая Г. А. Углеводородные флюиды в системе восходящих разгрузок в области седиментогенеза. Черные и горючие сланцы в системе седиментационных производных восходящих разгрузок // Тезисы конференции «Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы». Москва. – 2008. – С. 62–68.
11. Беляев А. М. Петрология вулканических пород формации рапакиви (о. Гогланд) // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 28–36.

12. Благородные металлы и рений в черных сланцах Прибалтийского палеобассейна / Панова Е.Г., **Енгальчев С.Ю.**, Фадин Я.Ю., Олейникова Г.А. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2022. – 151 с.
13. Блох А.М. Элементы примеси в костном фосфате ископаемых рыб / А. М. Блох, А. В. Коченов // Геология месторождений редких элементов. Вып. 24. М.: Недра, 1964, – 108 с.
14. Бочарников Р. Е. Эмиссия газов, рудных и петрогенных элементов на вулкане Кудрявый, остров Итуруп, Курильские острова / Р. Е. Бочарников, В. А. Князык, А. С. Штейнберг, Г. С. Штейнберг // Доклады РАН. – 1998. – Т. 361. – № 5. – С. 671–674.
15. Букина Т. Ф. Седиментогенез и ранний литогенез верхнеюрских сланценосных отложений центральной части Волжского бассейна / под. ред. З. Я. Яночкиной. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2013. – 128 с.
16. Валеев Р. Н. Авлакогены Восточно-Европейской платформы. – М.: Недра, 1978. – 152 с.
17. Введение в металлогению горючих ископаемых и углеродсодержащих пород: Учеб. пособие / В. Н. Волков, Ю. С. Полеховский, А. С. Сергеев, И. П. Тарасова. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. – 248 с.
18. Викентьев И.В. Уникальное месторождение рения в угленосных песках карбона Русской плиты. Сообщение 1. Геологическое строение / И. В. Викентьев, П. Э. Кайлачаков // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 3. – С. 209–226.
19. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
20. Волков А. В. Геохимические особенности и условия образования медистых песчаников Оренбургского Предуралья / И. А. Новиков, А. А. Разумовский, К. Ю. Мурашов, Н. В. Сидорова // Литосфера. – 2018. – Т. 18. – № 4, – С. 593–606.
21. Вялов В. И. Рений в диктионемовых сланцах Прибалтийского бассейна / В. И. Вялов, А. С. Балахонова, А. И. Ларичев, А. Х. Богомоллов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2013. – № 2. – С. 63–68.
22. Вялов В. И. Рудогенез диктионемовых сланцев и оболочковых песчаников Прибалтийского бассейна / В. И. Вялов, А. И. Ларичев, А. С. Балахонова, // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 55. – С. 87–98.
23. Вялов В. И. О металлоносности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна / В. И. Вялов, Ю. Б. Миронов, И. А. Неженский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2010. – № 5. – С. 19–23.

24. Гаврилов Ю.О. Седиментологические и геохимические обстановки формирования углеродистых толщ в мезозойских палеобассейнах европейской части России [Электронный ресурс] / Ю.О. Гаврилов, Е.В. Щепетова, Е.А. Щербинина // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. – 2014. – Вып. 1 (9). URL: http://www.oilgasjournal.ru/vol_9/gavrilov.html (дата обращения: 31.05.2018).
25. Гаврилов Ю.О. О возможных причинах накопления отложений, обогащенных органическим веществом, в связи с эвстатическими колебаниями уровня моря. Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Под ред. А.Ю. Розанова, М.А. Семихатова. М.: Недра, 1994, Вып. 1, С. 305–311.
26. Гавриш В. К., Добрянский Л. А., Мурич А. Т. Нефть, газ, ртуть и глубинные разломы Донбасса. – Киев, 1984. – 56 с. (Препринт / Ин-т геол. наук; 84-2).
27. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / отв. ред. Я. Н. Белевцев, В. Б. Коваль. – Киев: Наукова думка, 1995. – 396 с.
28. Геологические формации осадочного чехла Русской платформы / Н. С. Иголкина, В. П. Кириков, Г. Г. Кочин и др. – Л.: Недра, 1981. – 168 с. (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия; т. 296).
29. Геологический словарь: в 3 т.. Т.1. А - Й/ гл. ред. О. В. Петров ; отв. ред. В. Л. Масайтис, С. И. Романовский. Изд. 3-е. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. - 430 с.
30. Геологический словарь: в 3 т.. Т. 2. К - П/ гл. ред. О. В. Петров ; отв. ред. В. Л. Масайтис, С. И. Романовский. Изд. 3-е. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. - 476 с.
31. Геологический словарь: в 3 т.. Т. 3. Р - Я/ гл. ред. О. В. Петров ; отв. ред. В. Л. Масайтис, С. И. Романовский. Изд. 3-е. Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. - 436 с.
32. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1: Русская платформа / под. ред. В. Д. Наливкина и К. Э. Якобсона. – Л.: Недра, 1985. – 356 с.
33. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 10: Геологическое строение и минерагения СССР. Кн. 1. Геологическое строение СССР / под ред. А. И. Жамойды [и др.]. – Л.: Недра, 1989. – 352 с.
34. Геология астроблем / В. Л. Масайтис, А. Н. Данилин, М. С. Машак и др. – Л.: Недра, 1980. – 232 с.
35. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 1: Запад России и Урал. Кн. 1: Запад России / ред. Б. В. Петров, В. П. Кириков. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. – 528 с.
36. Геология СССР. Т. 1: Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание / В. А. Селиванова [и др.]. – М.: Недра, 1971. – 504 с.

37. Геология твердых полезных ископаемых Республики Татарстан / под ред. Ф. М. Хайретдинова, Н. Б. Валитова. – Казань: Изд-во «ДАС», 1999. – 403 с.
38. Геофизические исследования и тектоника юга Европейской части СССР. – Киев: Наукова думка, 1969. – 248 с.
39. Гинзбург А. И. Атлас петрографических типов горючих сланцев. – Л.: Недра, 1991. – 116 с.
40. Гольдберг И. С. Нафтаметаллогенические провинции мира и генезис рудных концентраций в тяжелых нефтях и битумах // Геология нефти и газа. – 1990. – № 3. – С. 2–7.
41. Горючие сланцы Европейского Севера СССР / Л. Ф. Васильева, В. А. Дедеев, Л. А. Дурягина и др. – Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1989. – 152 с.
42. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-(34) – Калининград. Объясн. зап. / Н. В. Лукьянова [и др.]. – СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 226 с.
43. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Скифская. Лист L-38 – Пятигорск. Объясн. зап. / В. А. Лаврищев [и др.]. – СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 420 с.
44. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (третье поколение). Серия Ильменская. Лист O-36-XXVI (Холм). 2022. – 124 с.
45. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист N-37, (38) – Москва. Объясн. зап. / гл. ред. В. П. Кириков. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1999. – 344 с.
46. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист N-38, 39 – Самара. Объясн. зап. / гл. науч. ред. В. П. Кириков. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2000. – 325 с.
47. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы O-35 – Псков, (N-35), O-36 – Санкт-Петербург. Объясн. зап. / В. Р. Вербицкий [и др.]. – СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 510 с.
48. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-37 – Москва. Объясн. зап. / гл. науч. ред. В. П. Кириков. – СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 462 с.
49. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы N-38 – Пенза. 2019 г. – 406 с.

50. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-39 – Казань-Самара. 2021 г. – 467 с.
51. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-39 - Ершов. 2021 г. – 282 с.
52. Готтих Р. П. Геохимические особенности нефти различных регионов и возможный источник металлов в ней / Р.П. Готтих, Б. И. Писоцкий, Д.З. Журавлев // Доклады РАН. – 2008. – Т. 422. – № 1. – С. 88–92.
53. Грабежев А. И. Рений в медно-порфировых месторождениях Урала // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55. – № 1. – С. 16–32.
54. Грабянская Н. Н. Терригенно-красноцветная формация нижней перми Донецкого бассейна / В. В. Грабянский, М. Л. Левенштейн и др. // Прогноз месторождений полезных ископаемых в осадочных формациях Украины. – Киев: Наукова думка, 1974. – С. 85–94.
55. Грушевой Г. В. Критерии прогнозирования уранового оруденения в чехле Русской платформы / Г. В. Грушевой, Н. М. Радюкевич, Т. А. Иванова, С. И. Долбилин, В. В. Красных, А. А. Разговоров, В. Т. Рябухин // Региональная геология и металлогения. – 1999. – № 8. – С. 12–22.
56. Грушевой Г.В. Прогнозная оценка ураноносности Русской платформы / Г.В. Грушевой, И.С. Оношко, С.С. Наумов // Разведка и охрана недр. – 1996. – № 3. – С. 11–20.
57. Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования / под ред. Д. В. Рундквиста. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 208 с.
58. Давыдова Т. Н., Гольштейн Ц. Л. Генезис осадков и палеогеография начала ордовика северной части Северной Прибалтики / Т.Н. Давыдова, Ц.Л. Гольштейн // Региональная палеогеография. – М.; Л.: Госгеолгтехиздат, 1960. – С. 15–24.
59. Давыдова Т. Н. Основные закономерности распределения урана в дикионемовых сланцах Прибалтики / Т.Н. Давыдова, Ц.Л. Гольштейн// Месторождения урана СССР. Т. 2. Вып. 1: Осадочные месторождения. – М., 1967. – С. 317–335.
60. Данченко В. Я., Рыбин А. В. Рений и германий в рудах Сахалина // Тектоника, геодинамика, магматизм, металлогения и сейсмичность Тихоокеанского сегмента Земли: Сб. статей / отв. ред. О. А. Мельников. – Южно-Сахалинск: Институт морской геологии и геофизики Сахалинского НЦ ДВО РАН, 2002. – С. 167–197.

61. Демина Т. Я., Тараборин Г. В. Меденосность покровных формаций позднего фанерозоя в Приуральском осадочном бассейне: Материалы науч. сессии ГИ УрО РАН. – Пермь, 2006. – С. 83–85.
62. **Енгальчев С.Ю.** Подводные газово-флюидные разгрузки и проблема происхождения уникальных ураново-редкометалльных месторождений Ергенинского района Калмыкии // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. – Москва, 2010. – С. 157–159.
63. **Енгальчев С.Ю.** Восходящие флюидные разгрузки и металлогения плитных комплексов Восточно-Европейской платформы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2011а. – №2. – С.16–25.
64. **Енгальчев С. Ю.** Минералы селена в цементе песчаников миоцена Калмыкии как индикаторы постседиментационных процессов // Минеральные индикаторы литогенеза: Материалы Российского совещания с международным участием (Сыктывкар, 14–17 марта 2011 г.). – Сыктывкар: Геопринт, 2011б. – С. 223–225.
65. **Енгальчев С. Ю.** Рений в уран-полиэлементных объектах осадочного чехла северо-запада Русской плиты // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – 2011в. – Вып. 157. – С. 122–127.
66. **Енгальчев С.Ю.** Селеновая минерализация в цементе песчаников, заполняющих палеоруслу системы палео-Дона как индикатор постседиментационных процессов// Третья научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов "Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых". – Москва, 2011г. – С. 49–52.
67. **Енгальчев С.Ю.** Скопления костного детрита рыб в глинах майкопской серии в Калмыкии как индикатор сингенетичных подводных газово-флюидных разгрузок. Минеральные индикаторы литогенеза. – Сыктывкар, 2011д. – С. 294–295.
68. **Енгальчев С. Ю.** Эпигенетические молибден-урановые новообразования в девонских отложениях запада Псковской области: состав, структурная позиция и условия формирования // Региональная геология и металлогения. – 2011е. – № 46. – С. 61–66.
69. **Енгальчев С. Ю.** Многоуровневые урановорудные районы европейской части России // Региональная геология и металлогения. – 2012а. – № 49. – С. 101–106.
70. **Енгальчев С. Ю.** Структурная позиция и геолого-генетическая модель формирования урановых объектов Южного Приильменья на северо-западе Русской плиты // Региональная геология и металлогения. – 2012б. – № 50. – С. 73–79.

71. **Енгальчев С. Ю.** Эпигенетические рений-уран-молибденовые концентрации в верхнедевонских отложениях на западе Псковской области // Разведка и охрана недр. – 2012в. – № 6. – С. 12–16.
72. **Енгальчев С. Ю.** Перспективные на рений объекты в осадочном чехле северо-запада Русской плиты // Разведка и охрана недр. – 2013а. – № 5. – С. 5–8.
73. **Енгальчев С.Ю.** Признаки проявления эндогенных процессов в верхнедевонских отложениях на северо-западе Московской синеклизы и их минерагеническое значение // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2013б. – №1. – С. 75–88.
74. **Енгальчев С. Ю.** Уран-молибден-рениевое оруденение в верхнедевонских отложениях нижнего течения реки Ловать на юго-востоке Главного девонского поля / С.Ю. Енгальчев, И.В. Вербицкий, П.М. Бутаков // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 90–97.
75. **Енгальчев С.Ю.** Новые данные о минеральном составе уникальных рениевых (U-Mo-Re) руд Брикетно-Желтухинского месторождения Подмосковного бассейна // Доклады РАН. 2019а. – том. 485,– № 4. –С. 464–467.
76. **Енгальчев С.Ю.** Новые данные о многоуровневом характере размещения рениевого оруденения в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы и вала Карпинского // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. №3. – 2019б. – С.55–63.
77. **Енгальчев С.Ю.** Рениеносность осадочного чехла Восточно-Европейской платформы. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019г. – 288 с. (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Том 359).
78. **Енгальчев С.Ю.** Рениеносность осадочных комплексов чехла Европейской части России: структурно-вещественная характеристика и вопросы генезиса // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2013в. – №2. – С.46–52.
79. **Енгальчев С.Ю.** Рениеносность осадочных комплексов чехла европейской части России: геолого-генетические типы и основные закономерности размещения // Осадочные комплексы Урала и прилежащих регионов и их минерагения: Материалы XI Уральского литологического совещания. – Екатеринбург, 2016. – С. 78–79.
80. **Енгальчев С.Ю.** Рений и селен в верхнеюрской сланцевой толще разреза «Городищи» в центральной части Волжского сланцевого бассейна // Литосфера. – 2019в. том 19, – № 5. – С. 704–716.
81. **Енгальчев С.Ю.** Ренийсодержащие рудные формации в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы // Материалы всероссийской конференции

«Минералообразующие системы месторождений высокотехнологичных металлов: достижения и перспективы исследований». М. – ИГЕМ РАН. – 2023. – С. 499–502.

82. **Енгальчев С.Ю.**, Панова Е.Г. Геохимия девонских песчаников восточной части Главного девонского поля. Издательство СПбГУ. 2008. – 100 с.

83. **Енгальчев С.Ю.** Геолого-структурные критерии локализации уран-молибден-руниевое оруденения в восточной части Подмосковского бассейна / С.Ю. Енгальчев, А.А. Пуговкин, Г.Б. Лебедева // Региональная геология и металлогения. – 2015а. – № 62. – С.97–104.

84. **Енгальчев С.Ю.** Рениеносность юго-восточной части Подмосковского потенциального урановорудного района / С.Ю. Енгальчев, А.А. Пуговкин, Г.Б. Лебедева // «Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов». Информационный сборник КНТС по геологии уран. Вып. 159. г. Москва, 2015б. С.179–187.

85. Ермаков И.Д., Иванов Д.Н., Комаровка Г.В., Пеньков В.Ф., Сависько В.Е., Ткаченко Е.П., Успенский В.А. Генетические и минералого-геохимические особенности урано-битумных месторождений в красноцветных толщах. В кн. «Геология и вопросы генезиса эндогенных урановых месторождений / АН СССР. Ин-т геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии; [Отв. ред. и авт. предисл. Ф. И. Вольфсон]. – Москва: Наука, 1968. – 472 с.

86. Ершова В.Б. Конденсированные отложения варангуского и латорпского горизонтов (нижний ордовик) российской части Балтийско-Ладожского глинта: дис.... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.01. – СПб., 2008. – 204 с.

87. Ершова В.Б., Федоров П.В. Литофациальная зональность латорпского надгоризонта (нижний ордовик) российской части Балтийско-Ладожского глинта / В.Б. Ершова, П.В. Федоров // Вестник СПбГУ. серия 7, – 2006, – вып. 2. – С. 34–46.

88. Жаров Ю. Н., Мейтов Е. С., Шарова И. Г. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России. – М.: Недра, 1996. – 225 с.

89. Загородных В. А. Металлоносность осадочного чехла северо-западной окраины Русской плиты // Литология и полезные ископаемые. – 2000. – № 5. – С. 500–511.

90. Загородных В. А., Довбня А. В., Жамойда В. А. Стратиграфия Калининградского региона. – Калининград, 2001. – 228 с.

91. Закирова Ф. А. Минерагения Южного федерального округа / Ф. А. Закирова, В. А. Антонов, Е. В. Беляев, В. Л. Омельченко, А. М. Рышков // Отечественная геология. – 2009. – № 6. – С. 17–27.

92. Закирова Ф. А. Рудоносность верхнепермских углеродсодержащих пород Вятско-Камской меденосной полосы // Руды и металлы. – 2006. – № 5. – С. 62–66.

93. Застрожнов А. С. Об объеме и возрасте яшкульской серии на южных Ергенях и в Приманычье // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1995. – № 2. – С. 16–22.
94. Знаменский В. С. Рениит ReS_2 – природный дисульфид рения из фумарол вулкана Кудрявый (о. Итуруп, Курильские острова) / В. С. Знаменский, М. А. Коржинский, Г. С. Штейнберг, С. И. Ткаченко, А. И. Якушев, И. П. Лапутина, И. А. Брызгалов, Н. Д. Самогоин, Л. О. Магазина, О. В. Кузьмина, Н. И. Органова, В. А. Рассулов, И. В. Чаплыгин // Записки Российского минералогического общества. – 2005. – Т. 84, № 5. – С. 32–40.
95. Золото Верхнекамской впадины / В. А. Наумов, И. Я. Илалтдинов, Б. М. Осовецкий, В. В. Голдырев, А. Б. Макеев. – Кудымкар: Коми-Пермяцкое кн. изд-во, 2003. – 218 с.
96. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн. Кн. 5: Редкие d-элементы. – М.: Экология, 1997. – 576 с.
97. Иванов В. В., Поплавко Е. М., Горохова В. Н. Геохимия рения. – М.: Наука, 1969. – 160с.
98. Иванов В. В., Поплавко Е. М., Малевский А. Ю. Минеральное сырье. Рений: [Справочник] / науч. ред. А. А. Кременецкий, П. Е. Остапенко. – М.: Геоинформмарк, 1998. – 20 с.
99. Иванова Т. А. Некоторые геоморфологические особенности размещения урановых месторождений на Русской и Скифской плитах / Т. А. Иванова, Г. В. Грушевой // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 3. – С. 19–24.
100. Иванова Т. А. Рябиновское месторождение и перспективы поисков уранового оруденения на северо-западе Русской плиты / Т. А. Иванова, Г. В. Грушевой // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – 2010. – Вып. 155. – С. 61–71.
101. Игнатов П. А. Типы урановых концентраций Московской синеклизы / П. А. Игнатов, А. Г. Лыхин, Ю. Ф. Малых, Н.Н. Наумов, Ю. Л. Быстраков, Г.И., Новиков А.Е. Фоменко, Е.К. Мельников, П. И. Шариков // Руды и металлы. – 1996. – №6. – С. 51–58.
102. Игнатов П. А. Два источника гелиевых аномалий в южной части Московской области / П.А. Игнатов, А. С. Цуранов, А. И. Кожурин // Новые идеи в науках о Земле. Т. 1. – М.: Книжный университет, 2005. – С. 24-25.
103. Игнатъев Г. В. Элементы примеси V, Mo, Ni, Co, Zn, Cd и др. в горючих сланцах Мезенского бассейна / Г.В. Игнатъев, Т.И. Иванова // Минералы: строение, свойства, методы исследования: Материалы V Всерос. молодеж. науч. конф. – Екатеринбург, 2013. – С. 74–77.

104. Илясов В.С. Условия формирования верхнеюрских горючих сланцев Волжского бассейна на примере месторождений саратовского Поволжья: Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2020. – 237 с.
105. Илясов В.С. Условия образования горючих сланцев Волжского бассейна с учетом их металлоносности на рений и другие ценные элементы / В.С. Илясов, В.Н. Староверов, В.Н. Илясов // Георесурсы. 2024. – Т. 26. – № 2. – С. 3–16.
106. История развития и минерагения чехла Русской платформы / под. ред. Ю. Г. Старицкого. – Л.: Недра, 1981. – 224 с. (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия; т. 308).
107. Казак А. П. Инъекционные туффзиты в докембрийском чехле Восточно-Европейской платформы / А. П. Казак, К. Э. Якобсон // Доклады РАН. – 1999. – Т. 367. – № 4. – С. 522–525.
108. Казанский М. Г. Золотоносность осадочного чехла Волго-Камской антеклизы // Разведка и охрана недр. – 2000. – № 10. – С.17–19.
109. Кайлачаков П.Э. Геологические условия локализации и минералогическая характеристика U-Mo-Re Брикетно-Желтухинского месторождения: Подмосковский бассейн: дис.... канд.геол.-минерал. наук : 1.6.10. (25.00.11). – Москва, 2021. – 143 с.
110. Кайлачаков П.Э. Уникальное месторождение рения в угленосных песках карбона Русской плиты. Сообщение 2. Минералогия руд / П. Э. Кайлачаков, О. А. Дойникова, П. Е. Белоусов, И. В. Викентьев // Литология и полезные ископаемые. – 2020. – № 4. – С. 337–370.
111. Калинин С. К., Файн Э. Е. Распространение рения в природных объектах. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 144 с.
112. Карась С. А. Брикетно-Желтухинское месторождение рения – новый геолого-промышленный тип водородных месторождений: особенности геологического строения и технология подземного выщелачивания / С. А. Карась, А. А. Кременецкий, С. Ю. Орлов, Ю. В. Культин, Т. Б. Шлычкова // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 11. – С. 20–26.
113. Карась С. А. Новый геолого-промышленный тип водородных месторождений рения / С.А. Карась, А.А. Кременецкий, С.Ю. Орлов, Ю.В. Культин, Т.Б. Шлычкова // Разведка и охрана недр. – 2017. – № 8. – С. 20–27.
114. Карта рудоносных формаций и рудных зон чехла Восточно-Европейской платформы. Масштаб 1 : 2 500 000. Объясн. зап. / ред. Ю. Г. Старицкий. – СПб., 2000. – 82 с.
115. Карта топливно-энергетических ресурсов Российской Федерации масштаба 1 : 5 000 000: [Электронное издание] / отв. исп. В. И. Вялов. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. – 1 CD-R.

116. Карта угленосности, сланценосности и геохимической специализации углей и горючих сланцев России с объяснительной запиской масштаба 1 : 10 000 000 // Геологический атлас России / отв. ред. А. А. Смыслов. – М.; СПб., 1996. – 202 с.
117. Каширцева М.Ф., Успенский В.А. Минералого-геохимическая зональность на уран-угольных месторождениях. Сборник статей «Условия образования месторождений редких и цветных металлов». – М.: Наука, 1982. – С. 204 – 212.
118. Кисляков Я. М., Щеточкин В. Н. Гидрогенное рудообразование / под ред. А. И. Кривцова и Г. А. Машковцева. – М.: Геоинформмарк, 2000. – 610 с.
119. Клер В. Р., Ненахова В. Ф. Парагенетические комплексы полезных ископаемых сланценосных и угленосных толщ. – М.: Недра, 1981. – 175 с.
120. Колодяжный С. Ю. Структурно-кинематические парагенезы и динамическая модель эволюции Балтийско-Мезенской зоны в фанерозое, северо-запад Восточно-Европейской платформы / С. Ю. Колодяжный, Е. Н. Терехов, А. С. Балуев // Геотектоника. – 2020. – № 2. – С. 48–74.
121. Константиновский А. А. Доманиковые слои Центральной части Русской плиты и их потенциальная рудоносность / А. А. Константиновский, А. Г. Волчков, В. Д. Конкин, О. Н. Захарова // Руды и металлы. – 1996. – № 2. – С. 54–59.
122. Красных В. В. Возможности выявления месторождений урана палеодолинного типа на юге Русской платформы // Разведка и охрана недр. – 1996. – № 3. – С. 20–24.
123. Кременецкий А. А. Рекристаллизационные каймы цирконов как индикатор возраста и условий процессов рудообразования / А.А. Кременецкий, Н.А. Громалова, Е.Н. Кайгородова // Минералогия во всем пространстве сего слова: проблемы укрепления минерально-сырьевой базы и рационального использования минерального сырья: Материалы конф. Годичное собрание РМО и Федоровская сессия (Санкт-Петербург, 9–11 окт., 2012). – СПб., 2012. – С. 142–144.
124. Кременецкий А. А. Бельское Re-Mo-U месторождение: минералого-геохимические особенности, условия формирования, технология извлечения рения / А. А. Кременецкий, Н. В. Лунева, И. М. Куликова // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 33–41.
125. Кузнецова В. В. О возможных формах нахождения молибдена и рения в углях Средней Азии / В. В. Кузнецова, А. А. Сауков // Геохимия. – 1961. – № 9. – С. 750–756.
126. Куршс В. М. Девонское терригенное осадконакопление на Главном девонском поле. – Рига: Зинатне, 1992. – 208 с.

127. Куршс В. М. Молибденовая минерализация в верхнедевонских отложениях Прибалтики и условия ее образования / В. М. Куршс, Э. Ю. Саммет // Условия образования осадочного чехла и структур Прибалтики. – Рига: Зинатне, 1981. – С. 157–167.
128. Кушнеренко В. К. Перспективы ураноносности северо-западного региона // Проблемы сырьевого обеспечения атомной энергетики: Тезисы науч.-практич. семинара. – СПб.: ВИМС, 2004. – С. 32–41.
129. Кушнеренко В. К. Предпосылки обнаружения месторождений типа Олимпик-Дам в Южном Приладожье // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – 2011. – Вып. 157. – С. 101–104.
130. Левченко Е. Н., Тигунов Л. П., Усова Т. Ю. Минерально-сырьевая база стронция России: проблемы и пути их решения / Е.Н. Левченко, Л.П. Тигунов, Т. Ю. Усова // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 9–10. – С. 29–36.
131. Литолого-фациальные и геохимические условия накопления меди в нижнепермских отложениях Бахмутской котловины / Е. Г. Суцук, Н. В. Жикаляк, В. А. Шумлянский и др. – Киев: ИГФМ, 1985. – 48 с. (Препринт / ИГФМ АН УССР).
132. Лурье А. М. Генезис медистых песчаников и сланцев. – М.: Наука, 1988. – 180 с.
133. Максимова М. Ф., Шмариович Е. М. Пластово-инфильтрационное рудообразование. – М.: Недра, 1993. – 160 с.
134. Месторождения горючих сланцев мира / под ред. В. Ф. Череповского. – М.: Наука, 1988. – 262 с.
135. Месторождения урана в речных палеодолинах Уральского региона / А. Б. Халезов, С. И. Долбилин, С. Н. Марков и др. – М.: ВИМС, 2009. – 145 с.
136. Месхи А. М. Модель позднепермского рудогенеза в Вятско-Камской полосе / А. М. Месхи, В. Г. Чайкин // Руды и металлы. – 2003. – № 3. – С. 5–13.
137. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Т. I: Металлические полезные ископаемые / Д. С. Гурский, К. Е. Есипчук, В. И. Калинин и др.; науч. ред. Н. П. Щербак, А. Б. Бобров. – Киев; Львов: Центр Европы, 2005. – 783 с.
138. Металлогенический кодекс России. – М.: Геокарт-ГЕОС, 2012. – 126 с.
139. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР: Геохимия элементов / отв. ред. Н. А. Созинов. – М.: Наука, 1987. – 238 с.
140. Металлогения Украины и Молдавии / [Отв. ред. акад. Я. Н. Белевцев]; АН УССР. Ин-т геохимии и физики минералов. М-во геологии УССР. – Киев: Наукова думка, 1974. – 511 с.

141. Металлургия рения / А. А. Палант, И. Д. Трошкина, А. М. Чекмарев М.: Наука, 2007. – 298 с.
142. Минерагенический потенциал недр России. Вып. 1: Восточноевропейско-Баренцевская мегапровинция / отв. ред. Н. В. Межеловский, Г. С. Гусев. – М.: ГЕОКАРТ: ГЕОС, 2008. – 728 с.
143. Минералогия органогенно-фосфатных руд ураново-редкометалльных месторождений Мангышлака и Калмыкии / А. А. Шарков, В. В. Иванов, Э. Л. Школьник; науч. ред. Г. А. Сидоренко. – М., 2010. – 142 с.
144. Михайлов В. А. Новые данные по ураноносности диктионемовых сланцев Прибалтийского бассейна (Кайболово-Гостилицкая площадь, Ленинградская область) / В. А. Михайлов, В. И. Вялов, Ю. Б. Миронов, Г. С. Искюль, А. Н. Лодыгин // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 10. – С. 56–60.
145. Михайлов В. А. Диктионемовые сланцы Прибалтийского бассейна – перспективный объект промышленного освоения на уран и другие полезные ископаемые / В. А. Михайлов, В. Я. Чернов, В. К. Кушнеренко// Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – 2006. – Вып. 149. – С. 92–98.
146. Мянниль Р. М. История развития Балтийского бассейна в ордовике. – Таллин: Валгус, 1966. – 200 с.
147. Наркелюн Л. Ф., Салихов В. С., Трубачев А. И. Медистые песчаники и сланцы Мира. – М.: Недр, 1983. – 414 с.
148. Наумов Б. Е. Рений и другие редкие и рассеянные металлы в горючих сланцах Прибалтики и в медномолибденовых рудах Средней Азии как ценный природный ресурс // Труды Института экономики и управления. Вып. 4. – Таллин: СИЭУ, 2006. – С. 125–145.
149. Недра северо-запада Российской Федерации / В. А. Коровкин, Л. В. Турылева, Д. Г. Руденко, В. А. Журавлев, Г. Н. Ключникова. – СПб.: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. – 520 с.
150. Неручев С.Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л.: Недр, Ленингр. отделение, 1982. – 208 с.
151. Нефтегазность России. – М.: Изд-во ВНИГРИ, 1997. – 123 с.
152. Нефтегазоперспективные объекты Украины. Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов. – Киев: Наукова думка, 2002. – 297 с.
153. Олейникова Г. А. Информационный ресурс анализа нанодракций почв / Г.А. Олейникова, Е.Г. Панова // Вестник СПбГУ. – 2007. – Сер. 7., – вып. 3. – С. 60–66.

154. Олейникова Г. А. Элементный анализ углей и черносланцевых пород методом масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором / Г.А. Олейникова, В.А. Шишлов, Я.Ю. Фадин // Химия твердого топлива. – 2015. – № 4. – С.58–65.
155. Олейникова Г.А., Геоинформационный ресурс анализа нанодракций горных пород / Г.А. Олейникова, Е.Г. Панова // Литосфера. – 2010. – № 6. – С. 23–34.
156. Оровецкий Ю. П. Днепровско-Донецкий горячий пояс / Ю. П. Оровецкий, В. П. Коболев, Л. Т. Калюжная // Геофизический журнал. – 2005. – Т. 27. – № 6. – С. 992–1004.
157. Островская Г. Я. Бельское месторождение // Месторождения урана СССР. Т. II. Вып. 2: Инфильтрационные и осадочные месторождения. – М., 1968. – С. 230–250.
158. Палеогеоморфологический атлас СССР. Карты палеорельефа и коррелятивных отложений [Карты] / гл. ред. А. В. Сидоренко; отв. ред. С. К. Горелов. – Л.: Мингео; ВСЕГЕИ, 1983.
159. Панов Б. С. Геологические особенности и минералогия линеамента Карпинского // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1988. – № 9. – С. 11–20.
160. Панов Б. С. Глубинные разломы и минералогия линеамента Карпинского с позиций синергетического анализа. – Киев, 1994. – 74 с. (Препринт / ИГМР АН Украины).
161. Панова Е.Г. Черные сланцы – нетрадиционный источник благородных металлов и рения / Е. Г. Панова, С. Ю. Енгальчев, Я. Ю. Фадин, Г. А. Олейникова, И. Ю. Тихомирова // Записки Горного института. – 2024. – Т. 269. – С. 789–802.
162. Патент 2455237 РФ. Нанотехнологический способ извлечения рения из пород и руд черносланцевых формаций и продуктов их переработки / Г. А. Олейникова, Е. Г. Панова, В. И. Вялов, В. Л. Кудряшов, М. Н. Сербина, Я. Ю. Фадин // Бюлл. «Роспатент». – 2012. – № 11. – С. 13–15.
163. Пекин А. А. Генетические и геолого-промышленные типы стронциевых рудопроявлений Московской целестиновой провинции // Геологический вестник центральных районов России. – 1999. – № 1–2. – С. 31–36.
164. Пеньков В.Ф. Генетическая минералогия углеродистых веществ. – М.: Недра, 1996. – 224 с.
165. Пеньков В.Ф. Уран и углеводороды. – М.: Недра, 1989. – 143 с.
166. Перельман А. И. Гидрогенные месторождения урана. – М.: Атомиздат, 1980. – 270 с.
167. Петров В. Г. О выделении Калужско-Бельской структурной зоны // Бюлл. МОИП. Отдел Геологический. – 1971. – Т. 46, вып. 3. – С. 47–56.
168. Поплавко Е. М. О геохимических особенностях и условиях образования медистых песчаников и сланцев / Е. М. Поплавко, В. В. Иванов, Ю. Т. Серкис, Ю. А. Тархов,

В. С. Орехов, Д. А. Бублянский, А. Д. Миллер, Л. И. Сердобова, Н. А. Большакова, Г. Д. Кошаровская // Геохимия. – 1977. – № 8. – С. 1217–1233.

169. Поплавко Е. М. О концентрациях рения в нефтях, нефтяных битумах и горючих сланцах / Е. М. Поплавко, В. В. Иванов, Т. Г. Карасик, А. Д. Миллер, В. С. Орехов, С. Д. Талиев, Ю. А. Тархов, В. А. Фадеева // Геохимия. – 1974. – № 9. – С. 1399–1402.

170. Поплавко Е. М. Особенности металлоносности горючих сланцев и некоторые предположения об их генезисе / Е. М. Поплавко, В. В. Иванов, В. С. Орехов, Ю. А. Тархов // Геохимия. – 1978. – № 9. – С. 1411–1418.

171. Промышленные типы урановых месторождений и методика их поисков. / под ред. Ю. М. Шувалова. – Ленинград: Недра, 1984. – 263 с.

172. Пятов Е.А. Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР. М.: ВИМС, 2005 г. – 246 с.

173. Разрез верхнеюрских сланцевосных отложений волжского бассейна (зона *Dorsoplanites panderi*) / Г. В. Кулева и др.; под ред. З. А. Яночкиной, А. В. Иванова. – Саратов: Научная книга, 2004. – 110 с. (Труды НИИГ Саратовского ГУ им. Н. Г. Чернышевского. Новая серия; т. 17).

174. Расулова С. Д. Седиментационно-диагенетические накопления урана в осадочных отложениях урановорудных объектов спорного генезиса / С. Д. Расулова, Г. А. Тарханова, В. В. Авакумов, В. Т. Дубинчик, В. В. Ружицкий // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – 2007. – Вып. 151. – С. 68–82.

175. Расулова С. Д. Особенности формирования Балковского экзогенно-эпигенетического инфильтрационного месторождения в отложениях миоцена / С.Д. Расулова, Г.А. Тарханова, Б.Ю. Каминов // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 11. – С. 18–23.

176. Региональный палеогидрогеологический анализ условий рудообразования для основных этапов геологического развития Русской платформы (в рифее – фанерозое) / под ред. Е. А. Баскова. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. – 166 с.

177. Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России / Г. А. Беленицкая, Н. Н. Соболев, О. В. Петров, А. М. Карпунин, Н. М. Задорожная, В. Н. Зинченко, А. Ф. Карпузов, Д. И. Леонтьев, И. Н. Мозолева, С. В. Юдин, С. В. Бузовкин, **С. Ю. Енгалычев**, Ю. Б. Миронов, Е. О. Петров, Н. Ф. Полякова, Б. И. Чувашев; отв. ред.: Г. А. Беленицкая, О. В. Петров, Н. Н. Соболев. - Санкт-Петербург: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. – 619 с. (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия / Всерос. науч.-исслед. геол. ин-т им. А.П.Карпинского; т. 355).

178. Ронов А. Б. Количественные закономерности строения и состава осадочных толщ Восточно-Европейской платформы и Русской плиты и их место в ряду древних

платформ мира / А.Б. Ронов, А.А. Мигдисов // Литология и полезные ископаемые. – 1996. – № 5. – С. 451–475.

179. Савко А. Д. Эксгалиционно-осадочная металлоносность Воронежской антеклизы – новые горизонты поисков рудных месторождений в осадочном чехле. Статья 2. Новые данные, критерии оценки площадей, прогноз рудоносности, перспективные участки / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв, В. В. Ильяш, В. В. Лоскутов // Вестник ВГУ. Серия Геология. – 2000. – Вып. 5 (1). – С. 126–136.

180. Савко А. Д. «Рассеянный рудогенез» – вклад в металлоносность осадочных толщ, возможные генетические типы / А. Д. Савко, Л. Т. Шевырёв // Вестник ВГУ. Серия Геология. – 2006. – № 1. – С. 55–68.

181. Салдин В. А. Маркирующие горизонты в верхнеюрских отложениях Яренгского сланцевого района (северо-восток Русской плиты) / В. А. Салдин, И. Н. Бурцев, Д. О. Машин, Д. Н. Шеболкин, Н. С. Инкина // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2013. – № 11. – С. 26–29.

182. Самойлов А. Г. Рений в волжских (титонских) отложениях центральной части Волжского сланцевого бассейна / А. Г. Самойлов, В. Н. Илясов, Н. Ю. Зозырев, Д. А. Шелепов // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2015. – № 84. – С. 53–57.

183. Самойлов А. Г. Рений в отложениях волжского яруса центральной части волжского сланцевого бассейна / А. Г. Самойлов, Н. Ю. Зозырев, **С. Ю. Енгальчев**, Д. А. Шелепов, В. Н. Илясов // Изв. Сарат. ун-та. Новая серия. Серия Науки о Земле. – 2017. – Т. 17, вып. 1. – С. 58–61.

184. Самойлов А.Г. Рениеносность верхнеюрских горючих сланцев центральной части Волжского сланцевого бассейна /А. Г. Самойлов, **С. Ю. Енгальчев**, Н. Ю. Зозырев, Д. А. Шелепов, В. Н. Илясов // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 75. – С. 67–78.

185. Старицкий Ю. Г. Закономерности пространственного распределения главных видов полезных ископаемых в чехле Русской платформы / Ю. Г. Старицкий, Г.Б. Кочкин, Е.О. Янова // Геология рудных месторождений. – 1996. – Т. 38. – № 1. – С. 76–86.

186. Столяров А. С. Ивлева Е. И. Ергенинский ураново-редкометалльный район Калмыкии. – М.: ВИМС, 2008. – 170 с. (Минеральное сырье, № 19).

187. Строение сланценовой толщи Прибалтийского бассейна горючих сланцев-кукерситов / под ред. В. А. Пуура. – Таллин: Валгус, 1986. – 77 с.

188. Таранушич Ф. Ф. Элементы-примеси в углях Восточного Донбасса // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 1. – С. 97–103.

189. Торикова М. В. Рений в промышленных и природных углеводородных фракциях, и углеродсодержащих месторождениях / М. В. Торикова, Ю. А. Кудинов, Д. С. Ключарев // Органическая минералогия: Тезисы II Рос. совещ. по органической минералогии. – Петрозаводск: ИГ КарНЦ РАН, 2005. – С. 191–193.
190. Трач Г. Н., Бескин С. М. Ресурсный потенциал рения территории России / Г.Н. Трач, С.М. Бескин // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 26–33.
191. Трошкина И. Д. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможность извлечения / И. Д. Трошкина, А. В. Шиляев, Т. Г. Абдрахманов, А. Б. Майборода // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 6. – С. 87–90.
192. Тюленева В. М. Минералого-геохимические особенности фосфорно-редкометалльно-уранового оруденения Ергенинского района Калмыкии и их влияние на технологические свойства руд / В. М. Тюленева, Б. Ю. Каминов, В. Т. Дубинчук, В. В. Ружицкий, И. Г. Быстров, С. И. Ануфриева, Е. Г. Лихникевич // Уран: геология, ресурсы, производство: Тезисы III Междунар. симп. – М.: ВИМС, 2013. – С. 163–165.
193. Тюленева В. М. Особенности комплексных органо-фосфатных руд в Ергенинском районе Калмыкии / В. М. Тюленева, И. Г. Быстров, С. Д. Расулова, Б. Ю. Каминов // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 7. – С. 6–12.
194. Тюленева В. М., Пеньков В. Ф., Комарова Г. В. Оценка перспектив и критерии локализации урано-битумного оруденения в осадочном чехле Русской платформы (Среднее Поволжье) / В. М. Тюленева, В. Ф. Пеньков, Г. В. Комарова // Руды и металлы. – 1996. – № 2. – С. 38–47.
195. Угольная база России. Т. I: Угольные бассейны и месторождения Европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский и Печорский бассейны, Урал). – М.: Геоинформмарк, 2000. – 483 с.
196. Удоратин В. В. Тектоническое районирование кристаллического фундамента Кировско-Кажимского авлакогена и прилегающих территорий // Литосфера. – 2014. – № 3. – С. 32–40.
197. Уран российских недр / Г. А. Машковцев, А. К. Константинов, А. К. Мигута, М.В. Шумилин, В. Н. Щеточкин. – М.: ВИМС, 2010. – 850 с.
198. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Лухтин В. Ф., Плеханов В. Н., Черняков В. М., Язиков В. Г. Издание второе. – Алматы, 2008. – 320 с.
199. Успенская Н. Ю. Пояс крупных разломов в пределах платформы юга Европейской части СССР и Средней Азии // Советская геология. – 1961. – № 3. – С. 88–96.
200. Фадин Я.Ю. Благородные металлы в черных сланцах Прибалтийского палеобассейна /Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – СПб., 2018. – 23 с.

201. Фации и фауна силура Прибалтики [Сб. статей] / под ред. Д. Л. Кальо. – Таллин: АН ЭССР, 1977. – 286 с.
202. Фоменко А. Е., Сазонов В. П., Дмитраков Л. И. Особенности размещения уранового оруденения Подмосковной ураноносной области / А. Е. Фоменко, В. П. Сазонов, Л.И. Дмитраков // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов. – 1999. – Вып. 140. – С. 5–14.
203. Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. – М.: Недра, 1977. – 360 с.
204. Халдна Ю. Л. Ртуть в диктионемовых сланцах Эстонской ССР / Ю. Л. Халдна, К. А. Ильмоя, И. К. Иоханнес, Я. О. Пенчук, Э. А. Вельс // Горючие сланцы. – 1986. – Т. 3, № 3. – С. 290–292.
205. Халезов А. Б. Далматовское месторождение урана. – М.: ВИМС, 2003. – 109 с.
206. Халезов А. Б. К вопросу о расширении минерально-сырьевой базы рения в Российской Федерации // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 8. – С. 13–17.
207. Халезов А. Б. Минералого-геохимическая и геотехнологическая зональность Далматовского месторождения урана (Зауралье) // Литология и полезные ископаемые. – 1997а. – № 6. – С. 521–530.
208. Халезов А. Б. Перспективы и проблемы промышленного освоения месторождений меди верхнепермской красноцветной формации Западного Предуралья (способами подземного и кучного выщелачивания) // Руды и металлы. – 2011. – № 5. – С. 5–14.
209. Халезов А. В. Ураноносность Верхнекамской впадины Русской платформы // Руды и металлы. – 1997б. – № 5. – С. 5–11.
210. Хейнсалу Х. Литостратиграфическое расчленение тремадокских отложений Северной Эстонии // Изв. АН Эстонской ССР. Серия Геология. – 1978. – № 36, вып. 2. – С. 66–78.
211. Цифровая карта размещения и изученности сланцевых месторождений Европейской части России. м-ба 1:2 500 000. ФГУП «ВНИГРИУголь». 2010 г.
212. Чайкин В. Г. Рудные формации меди и благородных металлов фанерозоя Восточно-Европейской платформы / В. Г. Чайкин, С. Г. Глебашев, А. М. Месхи, Ф. А. Закирова // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 6. – С. 552–561.
213. Шарков А. А. Ураново-редкометалльные месторождения Мангышлака и Калмыкии, их генезис. – М.: «Эслан», 2008. – 220 с.

214. Шарков А. А. Проявления вулканизма в позднем олигоцене на Мангышлаке / А. А. Шарков, Г. Я. Сидоренко, К. Т. Алулпанов // Бюлл. МОИП. Отделение геологическое. – 2010. – Т. 85, вып. 1. – С. 3–16.
215. Шашель А. Г. Разрывная тектоника Самарского Поволжья, геодинамическая обстановка ее формирования и нефтегазоносность / А. Г. Шашель, С. П. Папухин, А. А. Марченкова // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2002. – Вып. 31. – С. 10–21.
216. Шмариович Е. М. Условия формирования комплексного пластово-инфильтрационного оруденения / Е. М. Шмариович, Б. И. Натальченко, К. Г. Бровин // Советская геология. – 1987. – № 8. – С. 24–31.
217. Шор Г. М. Сравнительный анализ ураноносности чехлов платформ России / Г. М. Шор, А. М. Афанасьев, В. Д. Алексеенко, Е. И. Гунченко, Л. Г. Русинова // Региональная геология и металлогения. – 1999. – № 8. – С. 23–34.
218. Шор Г.М. Геолого-генетическая модель нового типа урановых месторождений, приуроченных к палеоврезам в низовьях Палео-Дона / Г. М. Шор, **С. Ю. Енгальчев**, Е. А. Гузенина // Материалы II Всероссийской конференции по прикладной геохимии "Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений". – Воронеж, 2009. – С. 221–223.
219. Шор Г.М. Структурные и гидрогеологические особенности локализации урановых месторождений в палеоврезах крупных речных систем, на примере объектов Палео-Дона / Г. М. Шор, **С. Ю. Енгальчев**, М. К. Жучкова, В. И. Тихонов, В. Н. Рогачев // «Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов». Информационный сборник КНТС по геологии уран. – Вып.153. – 2009. – С. 59–65.
220. Шпирт М. Я. Микроэлементы каустобиолитов и сланцев: проблемы их генезиса и промышленного использования / М. Я. Шпирт, С. А. Пуланова // Геохимия. – 2009. – № 2. – С. 216–224.
221. Шумлянський В. О. Золото та елементи платинової Групи (ЕПГ) в мідних родовищах Люблінського рудного району (Польща) та міденосність орогенних формацій України / В. О. Шумлянський, А. Солецькі // Наук. Праці І-ту фонд. Досл. – Київ, 1999. – С. 95–104.
222. Щепетова Е. В. Седиментология волжских сланценосных отложений (верхняя юра, зона Panderi) северной части Русской плиты // Бюлл. МОИП. Отделение Геологическое. 2009. – Т. 84, вып. 4. – С. 74–89.
223. Щепетова Е. В. Седиментология и геохимия углеродистых толщ верхней юры и нижнего мела Русской плиты: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – М., 2011. – 33 с.
224. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические и минералогические индикаторы вулканогенных продуктов в осадочных толщах. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 412 с.

225. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Элементы-примеси в черных сланцах. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 306 с.
226. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар: Геопринт, 2011. – 742 с.
227. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. – 272 с.
228. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука, 1985. – 239 с.
229. Юровский А. З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. – М.: Недра, 1968. – 214 с.
230. Яблоков В. С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки (в рифее – палеозое Русской платформы). – М.: Наука, 1973. – 216 с. (Труды ИГН АН СССР; вып. 248).
231. Якуцени С. П. Распространенность углеводородного сырья, обогащенного тяжелыми элементами-примесями. Оценка экологических рисков. – СПб.: Недра, 2005. – 372 с.
232. Bogdanova S. V., Gorbatshev R., Garetsky R. G. The East European Craton // *Encyclopedia of Geology* / Eds: R. C. Selley, L. R. Cocks, I. R. Plimer. – Elsevier. – 2005. – Vol. 2. – P. 34–49.
233. Galiakberov A., Zorina S., Maksyutova L., Dzhalnukhanova R., Zaripova G., Nikashin K. (2018). Toxicity of high-carbon sediments: case study from anoxic basins of the east European and West Siberian platforms. *Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources: Proceedings of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2017*. Bologna, Italy: Filodiritto Publisher, pp. 340–343.
234. *Geology of Poland*. Vol. 6: Mineral deposits / Auth.: E. Bareja, A. Bialaczewski, M. Blaszk et al.; Sci. ed. R. Osika. – Warsaw: Wydaw. geol., 1990. – 314 p.
235. Hade S., Soesoo A. Estonian graptolite argillites revisited: a future resource? // *Oil Shale*. – 2014. – Vol. 31, No. 1. – P. 4–18.
236. Hatch J.R., Leventhal J.S. (1992). Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. *Chemical Geology*, 99(1–3), pp. 65–82.
237. Hints R. Depositional framework of the East Baltic Tremadocian marginal black shale revisited / R. Hints, S. Hade, A. Soesoo, M. Voolma // *GFF*. – 2014. – Vol. 136 (3). – P. 464–482. doi: 10.1080/11035897.2013.866978.

238. Hints R., Soesoo A., Hade S., Voolma M., Kallaste T., Tarros S. (2014a). Tremadocian black shales from eastern Baltic Palaeobasin – revisiting geochemical and sedimentological heterogeneity. 4th Annual Meeting of IGCP 591, Vol. 4, p. 40.
239. Hints R., Soesoo A., Voolma M., Tarros S., Kallaste T., Hade S. (2014b). Centimetre-scale variability of redox-sensitive elements in Tremadocian black shales from the eastern Baltic Palaeobasin. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 63(4), pp. 233–239.
240. McNulty, B.A., Jowitt, S.M., 2021. Barriers to and uncertainties in understanding and quantifying global critical mineral and element supply. *iScience* 24, 102809.
241. Mineral commodity summaries 2024. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Reston, Virginia. 2024. 216 p.
242. Shumlyanskiy V. A. Two main types of uranium deposits within Phanerozoic formation of Ukraine // Changes and events in uranium deposits development. Vienna: – IAEA. – 1997. – pp.. 287–295.
243. Thorslund P. Notes on the Cambro-Silurian of Jämtland // The Cambrian, Ordovician, and Silurian in Västergötland, Narke, Dalarna, and Jamtland, central Sweden / P. Thorslund, V. Jaanusson. – International Geological Congress. XXI Session. Guide-book Sweden. – Stockholm, 1960.
244. Thorslund P., Axberg S. Geology of the southern Bothnian Sea. Part I // *Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala. New Series.* – 1979. – Vol. 8. – P. 35–62.
245. Voolma M. Soesoo A., Hade S., Hints R., Kallaste T. (2013). Geochemical heterogeneity of Estonian graptolite argillite. *Oil Shale*, 30(3), pp. 377–401.
246. Werner T.T., Mudd G.M., Jowitt S.M., Histon D. Rhenium mineral resources: a global assessment. *Resources Policy* 82. (2023) 103441. p.1– 31.

Фондовая

247. Вялов В. И., Олейникова Г. А., Панова Е. Г. и др. Геологический отчет. Окончательный отчет о результатах работ по объекту №1-40/12. «Поисковые работы на рений в диктионемовых сланцах и фосфоритах Прибалтийского бассейна на Кайболово-Гостилицкой площади с оценкой прогнозных ресурсов рения по категориям P2-P1». ФГУП ВСЕГЕИ. 2014 г. Санкт-Петербург. 541л., 208р., 1/1гр., 4кн., 1п., 1м.н. №28430.
248. Карась С. А., Орлов С. Ю., Татарников А. В., и др. Геологический отчет. Результаты оценочных работ на рений и попутные компоненты на Брикетно-Желтухинском месторождении с апробацией технологии подземного выщелачивания (Рязанская область) с подсчетом запасов рения по состоянию на 01.01.16 г. Отчет по Гос.контракту № 6/2013 от

24.05.13 г. Лицензия РЯЗ 00333 ТП. ФГБУ "ИМГРЭ".2015 г. Москва. 1121л., 121р., 115/129гр., 6кн., 5п., 3м.н. №523386

249. Новгородцев А. А., Алтунин О. В., Фоменко А. Е., и др. Геологический отчет. Оценка перспектив выявления промышленных м-ний урана в палеодолинах визейского возраста на Скопинской площади на основе составления комплекта геолого-прогнозных карт м-ба 1:200 000 на листы N-37-XV, XVI, XXII (15 тыс.кв.км) и 1:50 000 (750 кв.км). Государственный контракт № 01-2002 от 25.10.2002 г. ФГУГП "Урангео", ЦФ "Горно-геологическая экспедиция" 2005 г. Москва.719л., 130р., 37/39гр., 3кн., 2п., 1т., 4м.н. №16880.

250. Трач Г. Н., Кременецкий А. А., Бескин С. М., и др. Геологический отчет. Разработать и апробировать технологию извлечения рения из инфильтрационных Re-Mo-U руд месторождения Бельское. Отчет по Гос.контракту № 6/2010. ФГБУ "ИМГРЭ". 2012 г.Москва. 286л., 44р., 11/11гр., 1кн., 1п., 2м.н. №506852.