

На правах рукописи



Енгалычев Святослав Юрьевич

**РЕНИЕНОСНОСТЬ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва, 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского».

Научный консультант: **Панова Елена Геннадьевна**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геохимии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета (г. Санкт-Петербург)

Официальные оппоненты: **Левченко Елена Николаевна**, доктор геолого-минералогических наук, начальник управления информационно-аналитического и методического обеспечения работ на воспроизводство минерально-сырьевой базы редких металлов ФБГУ «ИМГРЭ» (г. Москва)

Толстов Александр Васильевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория геологии и минералогии благородных металлов, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН) (г. Якутск)

Жмодик Сергей Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, лаборатория геохимии благородных и редких элементов, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН) (г. Новосибирск)

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук» (ИГГ УРО РАН, г. Екатеринбург)

Защита состоится « 13 » мая 2025 г. в 15 00 на заседании диссертационного совета Д 24.2.364.02. (Д212.121.04) в Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, аудитория 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе и на сайте: <http://mgri.ru/>
Автореферат разослан: « ____ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат геол.-минерал наук, доцент

Иванов Андрей Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 требуются 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 актуальным и приоритетным направлением 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 порфириновые месторождения, медистые песчаники, а также эпигенетические гидрогенные месторождения урана зон пластового окисления [Иванов, Поплавко, Малевский, 1998; Кисляков, Щеточкин, 2000; Metallurgia 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; Енгальчев, 2019].

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; Metallurgia 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 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 др.].

Исследования, ориентированные на оценку металлоносности осадочного чехла, проводились в 60–80-е 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 рениеносности 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 рениеносности ряда осадочных пород и руд осадочного чехла Восточно-Европейской платформы: диктионемовых 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 рениеносных объектов предложена и апробирована технология отработки [Тюленева и др., 2013, 2014; Вялов и др., 2014ф; Карась и др., 2016, 2017].

Основными трудностями при оценке рениеносности рассматриваемой территории являются: низкое качеством 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 систематические исследования по оценке региона на рений не проводились. Не был проведен комплексный анализ новых данных, полученных при проведении геологосъемочных 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 рениеносности 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 рениеносные области и районы и дана их характеристика;

5) показана значимость рениевого 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 керн буровых скважин и коренных выходов в Ленинградской, Новгородской, Псковской, Ярославской, Костромской, Ульяновской областях, Татарстане, в также в ходе исследования керн скважин по территории Калининградской области, Рязанской области (Re-Mo-U 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 ГК-1000/3 листов О-35-36 (Санкт-Петербург – Псков), N-38 (Москва), N-38 (Пенза), N-39 (Казань) и ГК-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 ренийностью 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 ренийевого (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 Припятско-Дона-Мангышлакской палеорифтовой системы [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 керна 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;
- сканирующую электронную микроскопию и микронзондовый анализ,

выполненные в Центральной аналитической лаборатории ФГБУ «Институт Карпинского» на микрорентгеноспектральном анализаторе CamScan2300 (аналитики Е. Л. Грузова, С. Ф. Сапега) – более 1500 элементов/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 В. Н. Тарасова) – 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.

1. 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.

2. 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 .

3. 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.

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

5. Впервые оценена ренийность осадочного чехла ВЕП и выделены потенциально ренийносные области и районы, дана их характеристика.

Практическая значимость работы.

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

2. В осадочном чехле ВЕП выделены четыре перспективные потенциально ренийносные области и 15 районов.

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

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

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

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения. Содержит 292 страницы текста, 67 рисунков и 46 таблиц. Список использованных источников включает 250 наименований. *Введение* содержит цели и задачи исследования, информацию об актуальности работы, научной новизне и практической значимости, о личном вкладе автора и апробации. В первой главе «*Общие сведения о рении*» приведены сведения о геохимии этого редкого элемента, его природных источниках, области использования в промышленности, а также характеристика ренийсодержащих рудных формаций. Во второй главе «*Основные черты геологического строения Восточно-Европейской платформы и минерагении осадочного чехла*» приведены сведения о строении фундамента ВЕП и осадочного чехла, а также материалы по полезным ископаемым, связанным с осадочным чехлом региона. В третьей главе «*Рений в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы*» приводятся сведения об изученности региона на рений, геохимических предпосылках ренийносности осадочного чехла, а также приводится подробная характеристика ренийсодержащих формаций, установленных в осадочном чехле ВЕП. В четвертой главе «*Закономерности размещения ренийсодержащих формаций в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы*» описываются региональные пространственно-временные закономерности размещения ренийсодержащих формаций и их связь с породными комплексами, сформированными на основных историко-геологических этапах формирования осадочного чехла региона. В пятой главе «*Перспективные на рений области и районы*» приведена характеристика основных потенциально ренийносных минерагенических областей (Ижорская, Среднерусская, Волго-Уральская, Донецко-Маньчская) и районов. В шестой главе «*Геолого-генетические аспекты накопления рения в породах осадочного чехла Восточно-Европейской платформы*» приводятся сведения о формах нахождения

рения в составе ренийсодержащих формаций, обсуждаются возможные источники рудного вещества и базовые модели накопления рения (сингенетическая и эпигенетическая). В *заключении* перечислены основные научные и практические результаты работы, а также общие выводы.

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 минерагения: 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 ГК-200 – О-36-XXVI (Холм). Результаты минералого-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 керн 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. Синькову Л.С., 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; ГУП «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. Брусницыну (СПбГУ).

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 сланцах, 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 выделены 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-Доно-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.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение

В чехле Восточно-Европейской платформы выделены ренийсодержащие рудные формации, от ордовика до миоцена: ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, горючих сланцах, 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.

Кларк рения в земной коре составляет $7 \times 10^{-8} \%$ [Химическая..., 1995]. Рений крайне редко образует самостоятельные минералы. Достоверно известны несколько минералов рения: джезказганит (Cu, Pb, Re) S₂, рениит (ReS₂) [Знаменский и др., 2005]. Рений как изоморфная примесь присутствует в составе более 50 минералов-носителей [Иванов, 1997]: наиболее часто в молибдените, борните, халькопирите, иордизите, пирите. Основными его минералами-носителями являются сульфиды. Промышленные содержания рения в рудах молибден-медно-порфировых объектов связаны с примесью рения в молибдените.

Промышленное значение как источник Re имеют эпигенетические гидрогенные (инфильтрационные) урановые месторождения, связанные с зонами пластового окисления, где Re присутствует в составе руд совместно с U, Mo, Se и Sc [Шмариович, Натальченко, Бровин, 1987; Максимова, Шмариович, 1993; Кисляков, Щеточкин, 2000]. В России эпигенетические месторождения урана (палеодолинного типа) известны в южном обрамлении Западно-Сибирской платформы, в Забайкалье, в чехле Восточно-Европейской платформы, но, к сожалению, до настоящего времени рениеносный потенциал этих объектов, за небольшим исключением, должным образом не оценен.

В Российской Федерации Государственным балансом запасов рассеянных элементов по состоянию на 01.01.2023 запасы рения учтены в рудах 9 коренных месторождений: Брикетно-Желтухинское Re-Mo-U гидрогенное эпигенетическое (Рязанская область); Сорское молибденовое (Республика Хакасия); Южно-Шамейское вольфрам-молибденовое (Свердловская область); Агаскырское

молибденовое (Республика Хакасия); Ак-Сугское медно-порфировое (Республика Хакасия); Песчанка медно-порфировое (Чукотский автономный округ); Михеевское медно-порфировое (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 велась в Челябинской области и Республике Хакасия. Кроме того, в Сахалинской области известны динамические запасы рения кат. С₂ в количестве 36,7 т/год по рудопроявлению Вулкан Кудрявый на о. Итуруп (протокол ЦКЗ МПР России от 08.07.2002, б/н), не учитываемые Государственным балансом запасов.

Результаты обобщения и анализа материалов по ренийности Российской Федерации представлены на прогнозной карте (рис. 1), из которой следует, что в настоящее время по ряду позиций значительный интерес по выявлению новых ренийсодержащих месторождений представляет осадочный чехол ВЕП.

На основе анализа опубликованных, фондовых и авторских материалов, характеризующих вещественный состав комплексного с рением оруденения в породах и рудах осадочного чехла ВЕП, характер его локализации, условия формирования, были выделены девять ренийсодержащих рудных формаций (табл. 1). При этом под понятием «рудная формация» мы понимаем группу месторождений или проявлений, однотипных по вещественному (элементному и минеральному) составу руд и геологической обстановке нахождения, которая характеризуется связью с определённой геологической формацией и структурными условиями рудонакопления [Металлогенический кодекс, 2012].

Анализ авторских и литературных данных позволил установить вариации содержания рения в ренийсодержащих формациях осадочного чехла ВЕП (рис. 2).

Нами приняты следующие градации руд по содержанию в них Re: убогие 0,1–0,5 г/т, бедные 0,5–1 г/т, рядовые 1–2 г/т, богатые 2 г/т и более.

Таким образом, впервые в разновозрастных образованиях осадочного чехла ВЕП выделены девять ренийсодержащих рудных формаций, используемых при региональном металлогеническом анализе и выделении прогнозных площадей. При этом наибольшее промышленное значение имеют четыре формации: урановая в угленосных отложениях, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, каменноугольная.

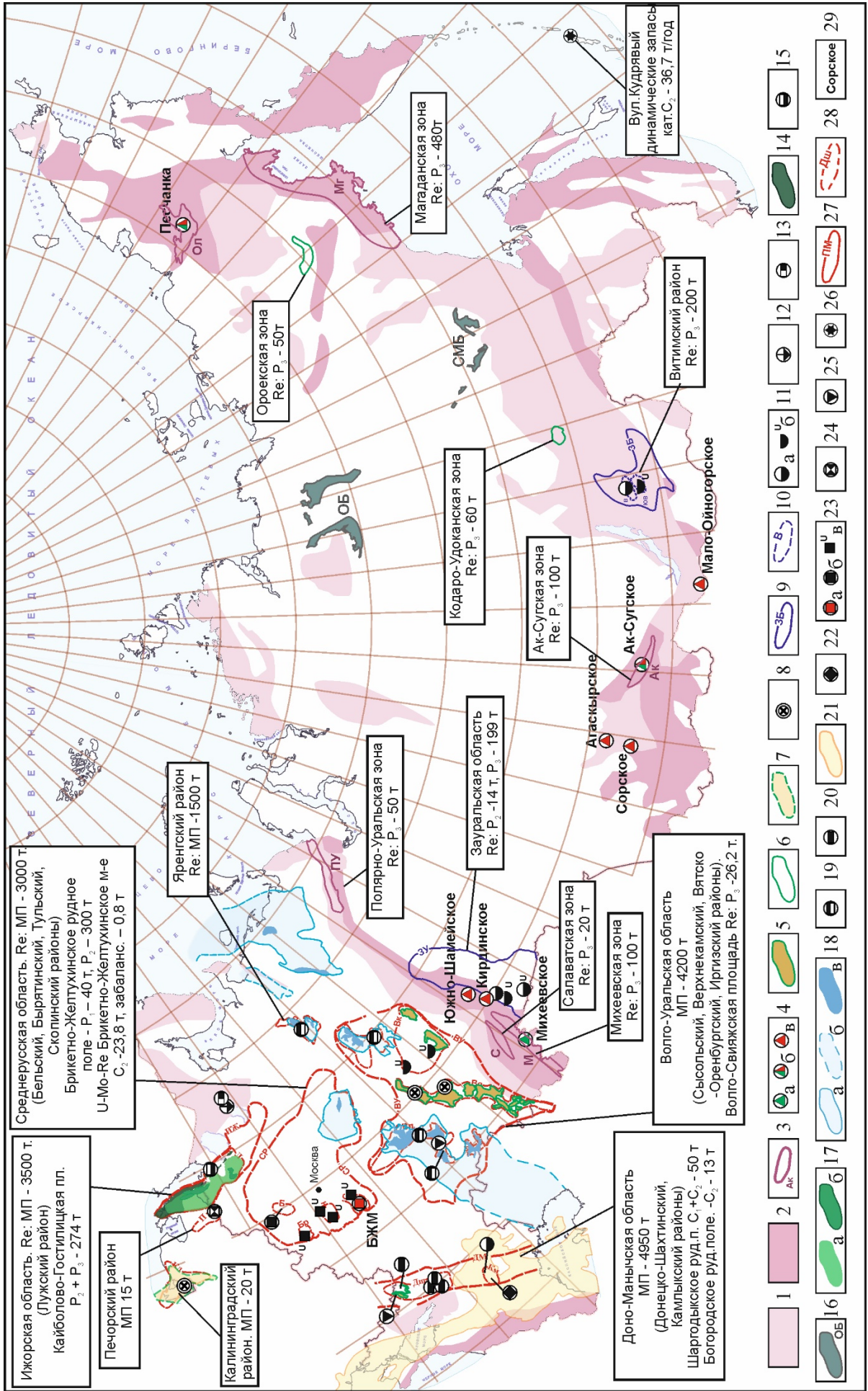


Рисунок 1. Прогнозная карта рениенности территории Российской Федерации.

Составлена с использованием материалов [Трач, Бескин, 2011; Бескин, Алексеева, 2016; Баланс, 2023], Государственных геологических карт масштаба 1:1 000 000, Паспортов перспективных объектов кат. Р₃ (ФГБУ «Институт Карпинского») и авторских данных. 1–2 – территории, перспективные на медно-порфировое оруденение по [Бескин, Алексеева, 2016]; 1 – ограниченно перспективные, приходящиеся на части древних платформ, на эпикратонные подвижные пояса и на срединные или краевые массивы среди складчатых областей, 2 – перспективные, 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 – медно-порфировой формации, б – 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 зоны); 6 – перспективные на рений зоны, связанные с медистыми песчаниками (КД – Кодаро-Удоканская, Ор – Ороеканская), по данным [Трач, Бескин, 2011]; 7 – область распространения потенциально меденосной формации перми Балтийской синеклизы; 8 – проявления рениеносной 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 Забайкалья; Долматовское, юг Западной Сибири; Балковское, Гашунская 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 ниже-среднекембрийского возраста (ОБ – Оленёкский 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, Подмосквовный бассейн, ВЕП), в – 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 (вул. Кудрявый, Южные Курилы); 27–28 – элементы прогнозно-металлогенического районирования на Re территории развития осадочного чехла ВЕП; 27 – области: ИЖ – Ижорская, СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Маньчская; 28 – районы: Л – Лужский; Б – Бельский, Т – Тульский, Ск – Скопинский, Бр – Бярятинский; Вк – Верхнекамский, Во – Вятско-Оренбургский, Вл – Волжский, И – Иргизский, С – Сысольский; Дш – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский; П – Печорский ПРР, Кл – Калининградский, Яр – Яренгский; 29 – месторождения с установленными запасами Re, поставленными на баланс.

Таблица 1. Ренийсодержащие рудные формации и 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 <i>// Геодинамическая обстановка рудообразования на территории ВЕП</i>
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, Балахонова, Ларичев, Богомоллов, 2013; Енгальчев, 2019; Панова и др., 2022]; углеродистые сланцы силура Балтийской синеклизы [Енгальчев, 2019] <i>// Бассейн пассивной окраины, внутренний шельф</i>
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, 2019]; горючие сланцы Волжского бассейна [Самойлов и др., 2015; 2017]; разрез «Городищи» [Енгальчев, 2019] <i>// Бассейн надрифтовых впадин</i>
3. Каменноугольная	Ангренское М, Казахстан [Кузнецова, Сауков, 1961; Клер и др., 1987]	Месторождения угля Восточного Донбасса с Re (Hg) [Жаров и др., 1996; Угольная база России, 2001] <i>// Авлакогенная</i>
4. Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом	Меловое М (U, REE, P) (Казахстан) [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков, и др., 2010]	Месторождения Ергенинского района Калмыкия (U, REE, P) [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков, и др., 2010; Тюленева и др., 2014; Енгальчев, 2019] <i>// Бассейны надрифторных впадин осложненные поднятиями</i>

Продолжение таблицы 1.

Ренийсодержащая рудная формация	Примеры месторождений (М) и проявлений (П), содержащих Re. В скобках указаны ведущие (профильные) элементы месторождений и проявлений	
	Мир	Осадочный чехол ВЕП <i>// Геодинамическая обстановка рудообразования на территории ВЕП</i>
5. Медистых песчаников и сланцев	Мансфельд М (Cu) (мульда Зангерзхаузен, Германия) [Knitzschke, 1961]; Любин-Серошовице М (Cu, ЭПГ, V) (Польша) [Гурская, 2000]; Джекказган 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, 2019]; меденосные углистые алевролиты саснавской свиты (пермь), Калининград [Енгальчев, 2019] // <i>Бассейн надрифтовых впадин; осадочные бассейны форланда</i>
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, 2019] // <i>Платформенная денудационных равнин</i>
7. Урановая в угленосных отложениях	М-е Кольджатское (U, Mo, Re) (Казахстан) [Пятов, 2005; Урановые месторождения Казахстана, 2008]	Подмосковный бассейн в центральной части ВЕП: Бельское М (U, Mo, Re) [Кременецкий и др., 2011]; Брикетно-Желтухинское М (U, Mo, Re) [Карась и др., 2016, 2017; Енгальчев, 2019; Викентьев, Кайлачаков, 2020] // <i>Платформенная денудационных равнин</i>
8. Молибденовая в пестроцветных отложениях	Проявление Лиэпа (Лоде) (Mo, U), Латвия [Куршс, 1992]	Печорское П (Mo, U) в Псковской области [Енгальчев, 2011; 2012]; Холмская площадь в Новгородской области (лист О-36-XXVI) [Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018] // <i>Платформенная денудационных равнин</i>
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, 2019]; Адамовское М (U, V) [Гурский и др., 2005] // <i>Платформенная денудационных равнин</i>

Примечание. В скобках указаны профильные химические элементы.

восточная часть Бабагурульского 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 Брикетно-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. Буквами обозначены: МП – минимальное промышленное содержание рения (0,05 г/т), ПУ – величина содержания рения (0,1 г/т) в объектах, подлежащих учету кадастром.

Второе защищаемое положение

В периферийных, отдаленных 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.

Размещение ренийсодержащих формаций в разрезе осадочного чехла ВЕП показано на рисунке 3. Видно, что наиболее разнообразный комплекс рениевых объектов установлен в верхнепалеозойских (карбон–пермь) отложениях ВЕП.

При выявлении региональных закономерностей размещения ренийсодержащих объектов в анализ вовлечены многочисленные материалы, характеризующие геологическое строение осадочного чехла и кристаллического фундамента, а в качестве значимого критерия рассматривается разнообразное влияние фундамента платформы на формирование осадочного чехла.

(периферийным) зонам осадочного чехла ВЕП приурочено размещение большинства ренийсодержащих рудных формаций (рис. 4).

Ренийсодержащие рудные 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 примыкающий 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, Вятско-Камской и Южно-Уральской меденосных зонах (полосах), а также на западе ВЕП в Балтийской синеклизе, где располагается краевая (восточная часть) часть пермского цехштейнового бассейна, основная часть которого располагается в северной Европе.

В краевой, по отношению к центральной части ВЕП, протяженной Припятско-Дона-Мангышлакской складчатой зоне палеозойского возраста приурочены ренийсодержащие угли Донецкого угольного бассейна (ренийсодержащая каменноугольная формация), Балковское месторождение урана (ренийсодержащая формация урановая терригенная палеодолин) в низовьях палео-Дона и комплексные органогенно-фосфатные урано-редкоземельные месторождения Калмыкии (фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом) в майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен) [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков, 2008; Минералогия, 2010; Енгальчев, 2019].

К краевым частям ВЕП приурочены объекты ренийсодержащей формации битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная. Типичным объектом является Репьевское уран-битумное месторождение в Среднем Поволжье (Жигулевский вал на юго-западе Волго-Уральской провинции). Менее изученное Адамовское уран-битумное располагается в складчатой зоне Донбасса.

Анализ площадного распределения ренийсодержащих объектов показал наличие их пространственной связи с рифейскими палеорифтогенными структурами и палеозойской рифтовой системой. В центральных районах ВЕП такое влияние проявлено особенно отчетливо.

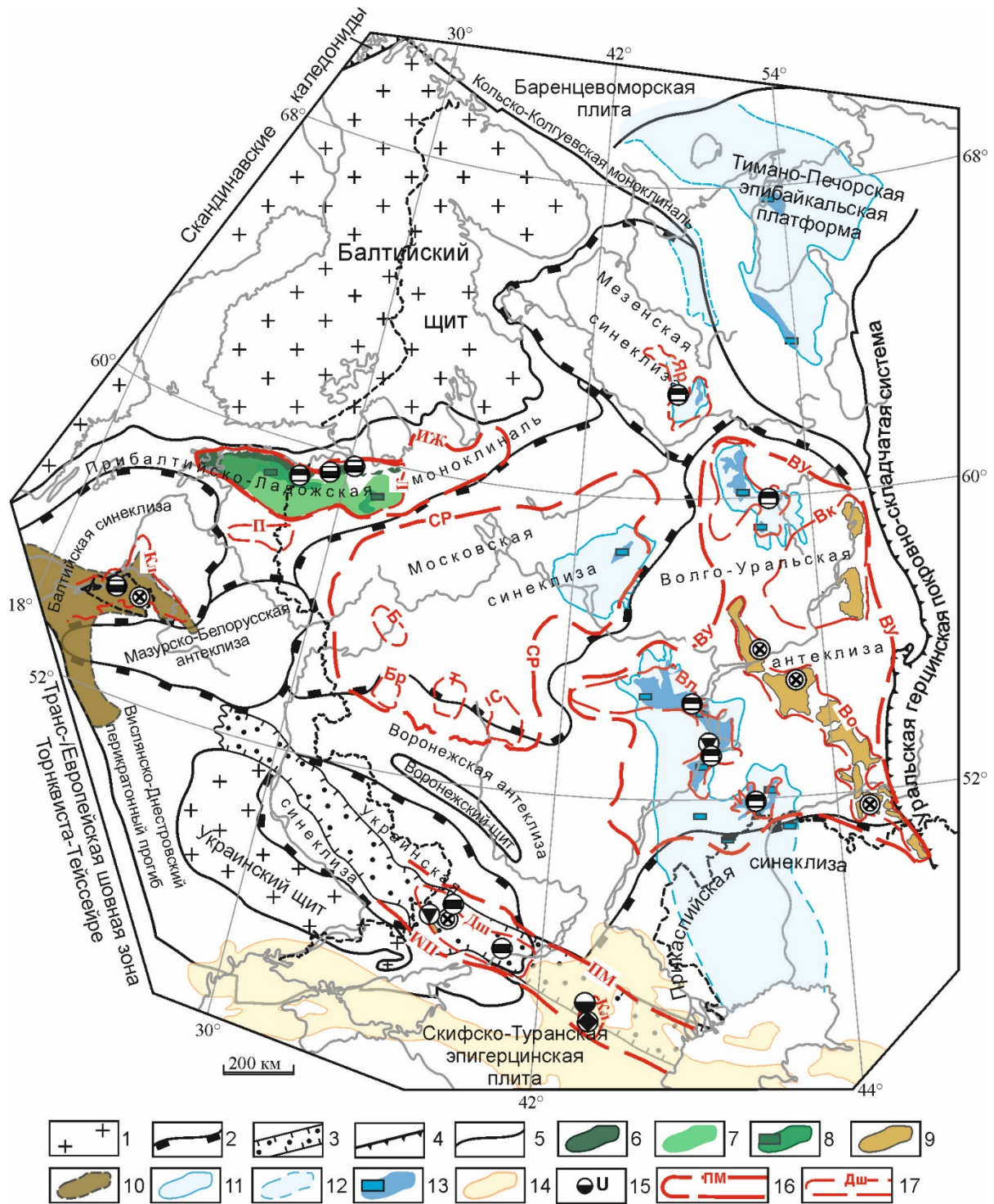


Рисунок 4. Схема размещения ренийсодержащих формаций и месторождений, приуроченных к периферийным зонам осадочного чехла ВЕП.

1 – щиты; 2 – границы синеклиз и антеклиз; 3 – рифты палеозойские (Припятско-Дноно-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 – кукерситы среднего ордовика; 8 – месторождения кукерситов и их контуры; 9 – медистые песчаники перми (Вятско-Камская, Южно-Уральская (P₂kz) и Приуральская (P₂u) 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, Сысольский, Яренгский, 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 – Сысольский; Дш – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский; П – Печорский ПРР, Кл – Калининградский, Яр – Яренгский; символ ренийсодержащей формации на рисунке 1.

К центральным частям ВЕП приурочены объекты ренийсодержащей формации *урановая в угленосных отложениях*. Они локализованы в угленосных отложениях южной части Подмосковного угольного бассейна нижнего карбона, развитого в южной части Среднерусской потенциально ренийносной области (ПРМО) и представлены двумя комплексными Re-Mo-U месторождениями (Бельское [Кременецкий и др., 2011] и Брикетно-Желтухинское) и рядом проявлений [Карась и др., 2016, 2017; Енгальчев и др., 2019; Викентьев и др., 2020; Кайлачаков и др., 2020; и др.].

Практически все выявленные Re-Mo-U объекты, проецируются на межблоковые шовные зоны в кристаллическом фундаменте [Кременецкий и др., 2011]. В структуре осадочного чехла Re-Mo-U объекты расположены в унаследованной от фундамента фанерозойской структуре – Калужской ступенчатой моноклизе. Наличие структурного контроля в локализации ренийевых объектов может указывать на участие глубинных металлоносных флюидов в их формировании при поступлении последних в осадочный чехол по проницаемым субвертикальным разрывным нарушениям.

Другая типичная ренийсодержащая формация центральных районов ВЕП *молибденовая в пестроцветных отложениях* представлена Печорским Re-Mo-U на западе Псковской области [Куршс, Саммет, 1981; Грушевой, Оношко, Наумов, 1996; Енгальчев, 2011а,б; 2012в, 2013]. В рудных обособлениях содержание Re – 1,38–3,94 г/т, U – до 0,53 %, Mo – до 7,29 % [Енгальчев, 2011, 2012]. Рений, вероятнее всего, изоморфно входит в состав минералов молибдена (молибденит, ильземаннит ($Mo_3O_8 \cdot nH_2O$)), установленных в составе рудных обособлений. Другим примером данной формации является Находское проявление в Новгородской области (лист О-36-XXVI). Здесь установлено содержание Re от 0,02 до 1 г/т, который ассоциирует с U, Mo, Ag, V, Se [Енгальчев, Вербицкий, Бутаков, 2018].

Таким образом, в центральных районах ВЕП установлены своеобразные комплексные месторождения, проявления и пункты минерализации, содержащие в своем составе Re, относящийся к рудным формациям – урановая в угленосных отложениях и молибденовая в пестроцветных отложениях, которые имеют многоэтапную историю формирования (с активным участием эпигенетических процессов) и приурочены к краевым зонам погребенных рифейских авлакогенов, а также участкам и зонам тектонических нарушений в осадочном чехле, которые часто подчеркнуты неоднородностями в строении осадочной толщи чехла (палеодолины, резкие переходы фаций одновозрастных отложений и др.).

Пространственная приуроченность ренийевых объектов к надрифтовым впадинам, вероятно, определяется их тектоническим, а главное «флюидным» режимом. Она обусловлена такими особенностями, как повышенная проницаемость чехла, повышенная тектоническая активность относительно более стабильных соседних блоков. Эти тектонические нарушения влияют на местный режим миграции флюидов, особенности проявления гидрогенных эпигенетических процессов, характер проявления эрозионных палеоструктур – палеодолин, благоприятных для размещения ренийсодержащего оруденения.

Совмещение рудных объектов, расположенных на различных уровнях разреза, позволяет выявить новые, ранее не известные закономерности размещения оруденения. Так, на примере урановых объектов европейской части России, приуроченных к породам осадочного чехла, была показана возможность выделения многоуровневых урановорудных районов [Енгальчев, 2012, 2019].

Установлено, что в осадочном чехле региона ренийсодержащее оруденение располагается на нескольких стратиграфических уровнях, а в пределах некоторых районов имеет место многоуровневый характер размещения (центральную часть Волжского района, Калмыкский район, Донецко-Шахтинский район, а также, вероятно, Лужский район и Вятско-Оренбургский район). Это свидетельствует о слабой изученности территории на рений, а также о возможности выявления новых рудных объектов ниже по разрезу. Вероятно, и на территории других платформ со сходным геологическим строением высока вероятность обнаружения ренийевого оруденения на нескольких уровнях разреза осадочного чехла.

Третье защищаемое положение.

В осадочном чехле Восточно-Европейской платформы выделены четыре перспективные потенциально-ренийеносные 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-Манычская 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-Манычская области.

Металлогенический анализ на рений осадочного чехла ВЕП проведен автором на основе учета тектонического, литологического, палеогеоморфологического и гидрогеологического факторов. В результате выделено 19 металлогенических таксонов: четыре ПРМО и 15 ПРР (рис. 5).

Металлогенический потенциал рения в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы оценен в 17 185 т (Ижорская ПРМО – 3500, Лужский – 3000; Среднерусская ПРМО – 3000, Бельский – 400, Барятинский 400, Тульский – 1000, Скопинский – 1200; Волго-Уральская ПРМО – 4200, Сысольский – 600, Верхнекамский – 300, Вятско-Оренбургский – 900, Волжский – 1800, Иргизский – 600; Донецко-Манычская ПРМО – 4950, Донецко-Шахтинский – 4500, Калмыкский – 450; Яренгский – 1500, Печорский – 15, Калининградский – 20).

Остановимся на краткой характеристике наиболее значимых подразделений.

I. Ижорская ПРМО располагается на северо-западе Русской плиты, осложненной протяженной Балтийско-Мезенской тектонической зоной. В западной части Ижорской ПРМО выделяется Лужский ПРР (рис. 6).

Основные перспективы Лужского ПРР и всей области связаны с углеродистыми диэтиониевыми сланцами пакерортского горизонта тремадокского яруса нижнего ордовика (ренийсодержащая рудная формация – ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах). Они характеризуются комплексной рудоносностью: U, Mo, V, Re Sc, Cs, Ag [Михайлов, Чернов, Кушнеренко, 2006; Вялов, Миронов, Нежинский, 2010] и наличием благородных металлов (Pd – до 1,1; Pt – до 0,065 г/т, Au – до 0,43; Ag – до 300 г/т) [Панова,

Олейникова, 2008; Панова и др., 2022; Панова и др., 2024]. Средние содержания Re в диктионемовых сланцах составляют 0,12 г/т [Вялов и др., 2013].

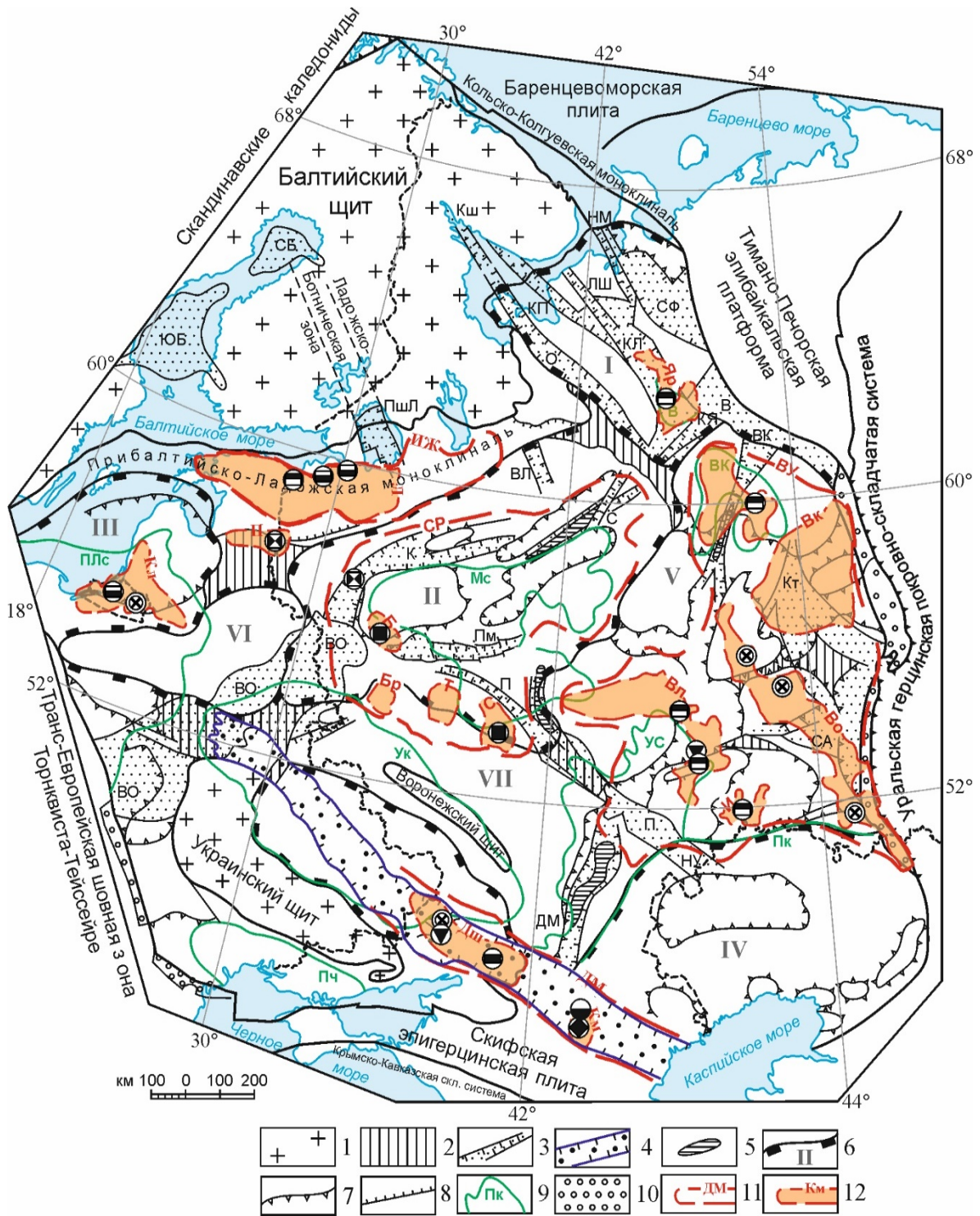


Рисунок 5. Схема размещения ПРМО и ПРР относительно основных тектонических элементов региона, в том числе рифтогенных структур различного возраста и наложенных на них впадин осадочного чехла. Составлено автором с использованием [Геология и пол. иск., 2006].

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, Кш – Кандалакшинский, КЯ – Котлас-Яренский, ЛШ – Лешуконский, НМ – Нижнемезенский, НУ – Ново-Узенский, О – Онежский, П – Пачелмский (Рязано-Саратовский), Пм – Подмосковский (Московский), ПшЛ – Пашско-Ладожский, С – Солигаличский и Рослятинский, СА – Сергиевско-Абдулинский. Впадины и прогибы: СБ – Северо-Ботническая, ЮБ – Южно-Ботническая, ВО – Вольно-Оршанская, В – Вычегодский, Сф – Сафоновский); 4 – рифты палеозойские (Припятско-Донско-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, 8 – граница с Уральской складчато-надвиговой системой, 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 – Вашкская, 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 – Барятинский; Вк – Верхнекамский, Во – Вятско-Оренбургский, Вл – Волжский, И – Иргизский, С – Сысольский; Дш – Донецко-Шахтинский, Км – Калмыкский; П – Печорский ПРР, Кл – Калининградский, Яр – Яренгский; Символ ренийсодержащей формации на рисунке 2.

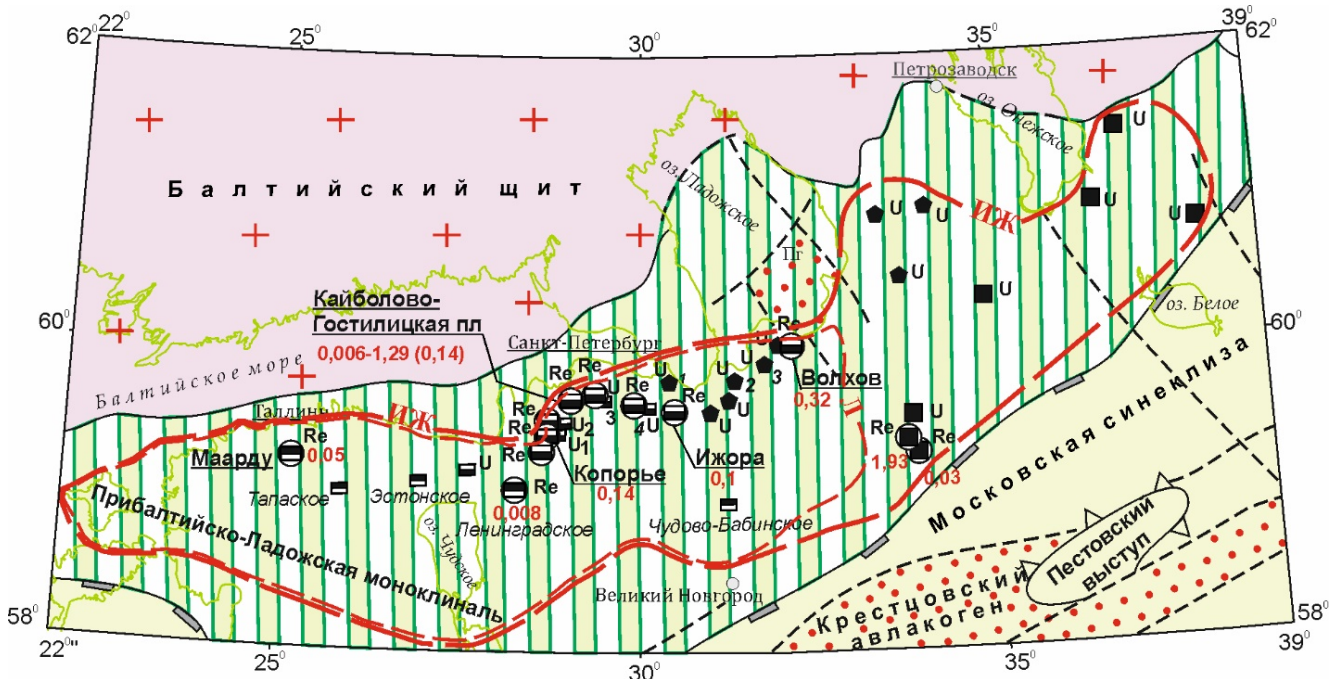


Рисунок 6. Схема Ижорской ПРМО. Условные обозначения на рисунке 7.

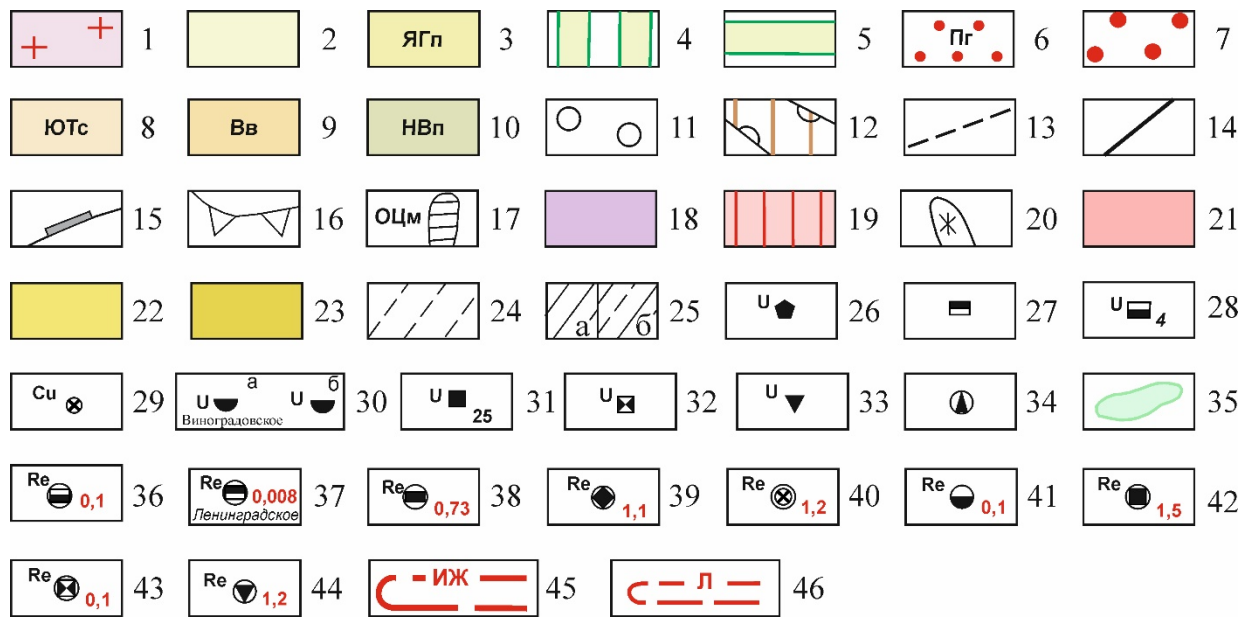


Рисунок 7. Условные обозначения к схемам областей

1–25 – тектонические элементы: 1 – выступы фундамента, щиты; 2 – погребенные впадины, осложняющие синеклизы, 3 – прогибы, осложняющие синеклизы (ГТп – Грязовецко-Торногский, ЯГп – Ярославско-Галичский); 4 – моноклинали; 5 – седловины (Лс – Латвийская, Жс – Жлобинская); 6 – авлакогены и впадины рифейские (Ка – Крестцовский, ПМа – Подмосковский, Па – Пачелмский, КЯа – Котлас-Яренский, ВКа – Вятско-Кажимский, ВОвп – Волынско-Оршанская); 7 – палеозойская рифтовая Припятско-Доно-Мангышлакская система; 8 – своды антеклиз (Тос – Токмовский свод, Кс – Котельничский свод, Сс – Сысольский, КПс – Коми-Пермятский, Пс – Пермский, БС – Башкирский, СТс – Северо-Татарский, ЮТс – Южно-Татарский, Ос – Оренбургский, СИс – Соль-Илецкий, ЖПс – Жигулевско-Пугачевский); 9 – впадины антеклизы (Вв – Ветлужская, Бв – Башкирская, Ввп – Верхнекамская); 10 – прогибы, впадины (НВп – Нижневолжский прогиб, УПв – Уметовско-Линевская впадина); 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 (мегавалы: РСм – Рыбинско-Сухонский, ОЦм – Окско-Цнинский); 18 – Уральская складчато-надвиговая система; 19–21 – Тимано-Печорская плита; 19 – кряжи, антиклинали, 20 – выходы на поверхность складчатого основания; 21 – синеклизы, впадины, прогибы; 22 – Скифско-Туранская плита; 23 – Доно-Мангышлакская складчатая система; 24 – зона перехода складчатых структур в платформенные; 25 – складчатый Донбасс (а) и кряж Карпинского (б); 26–35 – *перспективные на рений месторождения и проявления ряда полезных ископаемых (уран, горючие сланцы, нефти и др.):* 26 – урановые проявления и месторождения (1 – Славяновское, 2 – Рябиновское, 3 – Ратницкое) в вендских отложениях в основании осадочного чехла северо-запада ВЕП; 27 – месторождения горючих сланцев; 28 – урановые проявления и месторождения в битуминозных сланцах (1 – Котловское, 2 – Куммолотовское, 3 – Гостилицкое, 4 – Красносельское); 29 – проявления медистых песчаников и сланцев; 30 – месторождения (а) и проявления (б) урана палеодолинного типа; 31 – урановые проявления в угленосных отложениях (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); 32 – урановые проявления в песчано-глинистых отложениях (1 – Ловатское); 33 – уран-битумные месторождения и проявления; 34 – месторождения нефтей и битумов; 35 – меденосные площади в пермских отложениях; 36–44 – *ренийсодержащие формации*, красным цветом показано содержание рения в г/т, символ формации на рисунке 1; 45 – потенциально ренийносные минерагенические области (ИЖ – Ижорская, СР – Среднерусская, ВУ – Волго-Уральская, ДМ – Донецко-Маньчская); 46 – потенциально ренийносные районы.

Основные перспективы Лужского ПРР и всей области связаны с углеродистыми диктионемовыми сланцами пакерортского горизонта тремадокского яруса нижнего ордовика (ренийсодержащая рудная формация – ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах). Они характеризуются комплексной рудоносностью: U, Mo, V, Re Sc, Cs, Ag [Михайлов, Чернов, Кушнеренко, 2006; Вялов, Миронов, Нежинский, 2010] и наличием благородных металлов (Pd – до 1,1; Pt – до 0,065 г/т, Au – до 0,43; Ag – до 300 г/т) [Панова, Олейникова, 2008; Панова и др., 2022; Панова и др., 2024]. Среднее содержание Re в диктионемовых сланцах составляет 0,12 г/т [Вялов и др., 2013].

Рений в составе сланцев присутствует в виде примеси в составе сульфидной (пирит, марказит, халькопирит, галенит) минерализации, характерной для сланцев, а также в глинистом и органическом веществе, в составе легкоподвижных (ионных, молекулярных и коллоидных) комплексов.

Ресурсы рения Ижорской ПРМО. По данным геологоразведочных работ, на Кайболово-Гостилицкой площади определены ресурсы Re в диктионемовых сланцах: $P_2+P_1 = 274$ т, участок детализации: $P_1 = 18$ т. Металлогенический потенциал рения Ижорской ПРМО оценен в 3500 т, а Лужского ПРР – в 3000 т.

II. Среднерусская ПРМО располагается в центральной части ВЕП и приурочена к центральной части Московской синеклизы (рис. 8). В ее южной части выделены Бельский, Барятинский, Тульский и Скопинский ПРР.

Основные ренийевые объекты – Re-Mo-U Бельское и Брикетно-Желтухинское месторождения (формация – урановая в угленосных отложениях) приурочены к песчано-глинистым угленосным отложениям бобриковского и тульского горизонтов визейского яруса нижнего карбона. Оруденение сосредоточено в бортовых частях крупных палеодолин с унаследованным развитием, на участках резкого изменения генеральных направлений палеорусел, непосредственно связанных со структурами осадочного чехла.

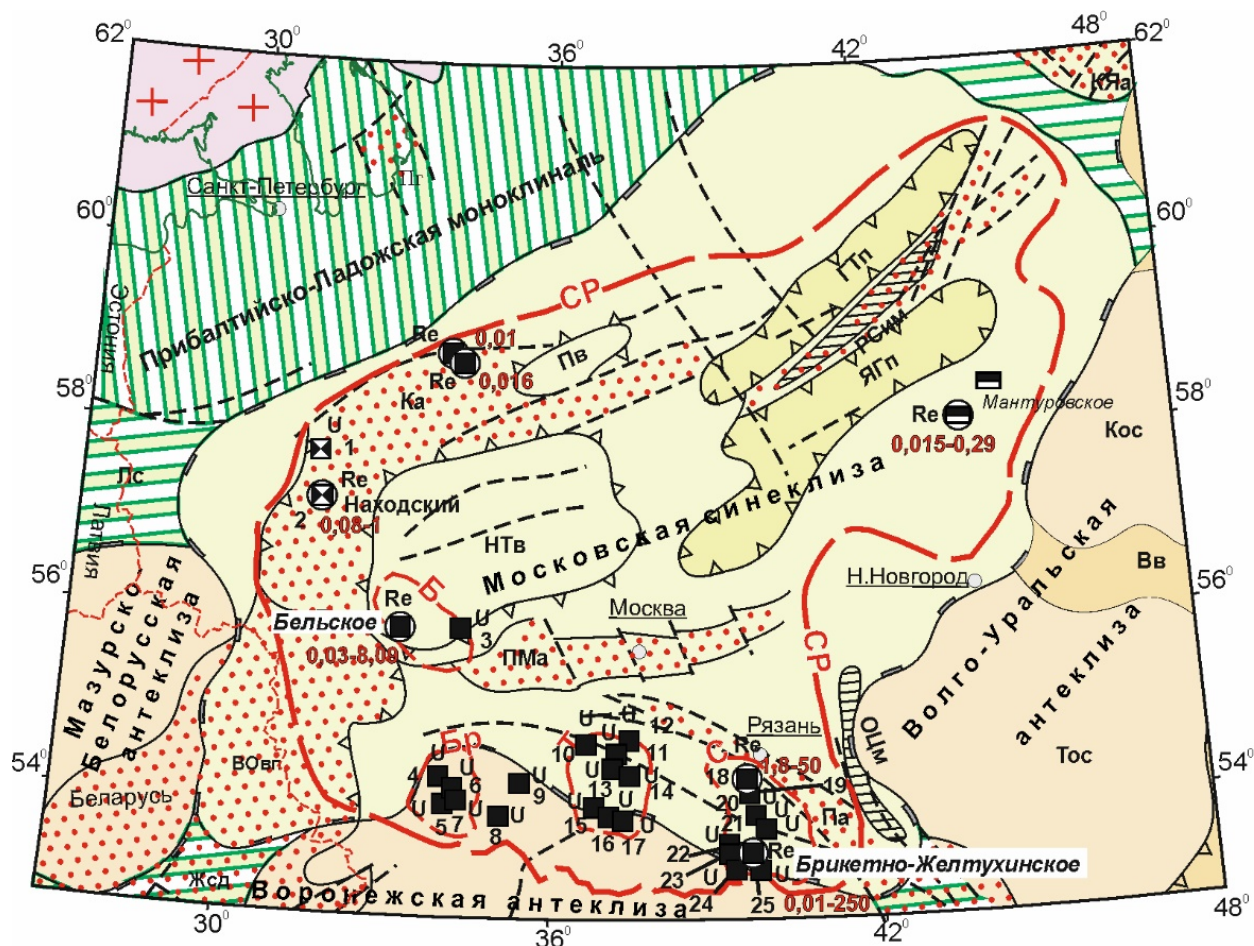


Рисунок 8. Схема Среднерусской ПРМО
Условные обозначения на рисунке 7.

Региональной рудовмещающей структурой, контролирующей положение Скопинского ПРР и Тульского ПРР, является долина палео-Оки (и ее притоки). Расположение осей большинства палеодолин контролируют зоны тектонических нарушений в «известняковом фундаменте».

По данным ФГБУ «ИМГРЭ», прогнозные ресурсы Re Подмосковского бассейна составили: $P_1 - 40$ т, $P_2 - 1335$ т, $P_3 - 2500$ т [Трач, Бескин, 2011], а рудного поля Брикетно-Желтухинского месторождения: $P_1 - 40$ т, $P_2 - 300$ т (по данным Роснедра на 01.01.2023 г.). Запасы рения Брикетно-Желтухинского месторождения: $C_2 - 22,8$ т, забалансовые – 0,8 т.

В южной части Среднерусской ПРМО, в отложениях нижнего карбона установлен ряд Мо-U проявлений, не опробованных на рений: Алексеевское, Рязанское, Юраковское, Волковское, Вослебовское, Западно-Скопинское, Восточно-Вердинское, Южно-Скопинское. Достаточно высока вероятность выявления новых Re-Mo-U объектов с богатыми рудами. При этом извлечение Re из комплексных Re-Mo-U руд возможно методом СПВ [Карась и др., 2016, 2017].

По авторским данным, металлогенический потенциал Среднерусской ПРМО оценивается в 3000 т. Бельский ПРР – 400 т, Баятинский ПРР – 400 т, Тульский ПРР – 1000 т, Скопинский ПРР – 1200 т.

III. Волго-Уральская ПРМО располагается преимущественно на территории Волго-Уральской антеклизы, а в ее состав входят Сысольский, Вятско-Оренбургский, Волжский, Иргизский и Верхнекамский районы (рис. 9).

Область занимает большую часть Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Известны месторождения битумов, медистых песчаников в пермских отложениях (с повышенными содержаниями Ag, Cd, V, As, Au, Pt [Чайкин и др. 2004; Месхи, Чайкин 2003; Геологи и пол. иск., 2006]), горючих сланцев верхней юры (Волжский и Сысольский бассейны), урана различных типов (уран-битумные, «палеодолинный», ураноносные торфяники), бентонита, цеолитов. Область характеризуется развитием термальных вод.

Типовыми ренийсодержащими формациями области являются **горючих сланцев и битумная уран-ванадий-карбонатная и терригенно-карбонатная.**

1. Ренийсодержащая формация горючих сланцев приурочена к верхнеюрским горючим сланцам, развитым на территории Сысольского, Волжского, Иргизского сланцевых районов. По авторским данным, содержание рения в горючих сланцах Сысольского района составляет 0,11–0,033 г/т, что соответствует уровню его накопления в диктионемовых сланцах. В сланцах района рений ассоциирует с Se, Mo, U, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd, Ag.

Углеродистые сланцы Волжского бассейна, приуроченные к толще средневожского подъяруса верхней юры [Месторождения горючих..., 1988; Букина, 2013], включают ряд месторождений (Ульяновское, Моревское, Буинское, Липовское, Ундорское, Захарьевское, Кашпирское и др.).

В последние годы были проанализированы на Re горючие сланцы ряда месторождений бассейна, показавшие содержания на уровне 0,016–0,22 г/т [Самойлов и др., 2015]. В разрезе «Городище», расположенном севернее г. Ульяновск, содержание Re – 0,13 (0,09–0,19) г/т. Он ассоциирует с Hg, Se, Zn, Cu и U, а также с $C_{орг}$. [Енгальчев, 2019в].

На юге Волго-Уральской области, в пределах Бузулукской впадины располагаются крупные месторождения горючих сланцев (Перелюб-Благодатовское и Коцебинское, Чаганское, Общесыртовское, Дергуновское, Торпано-Гришкинское). В горючих сланцах Перелюбского месторождения установлены содержания рения в 0,013 г/т, а Коцебинского – 0,018–0,079 г/т [Самойлов и др., 2015].

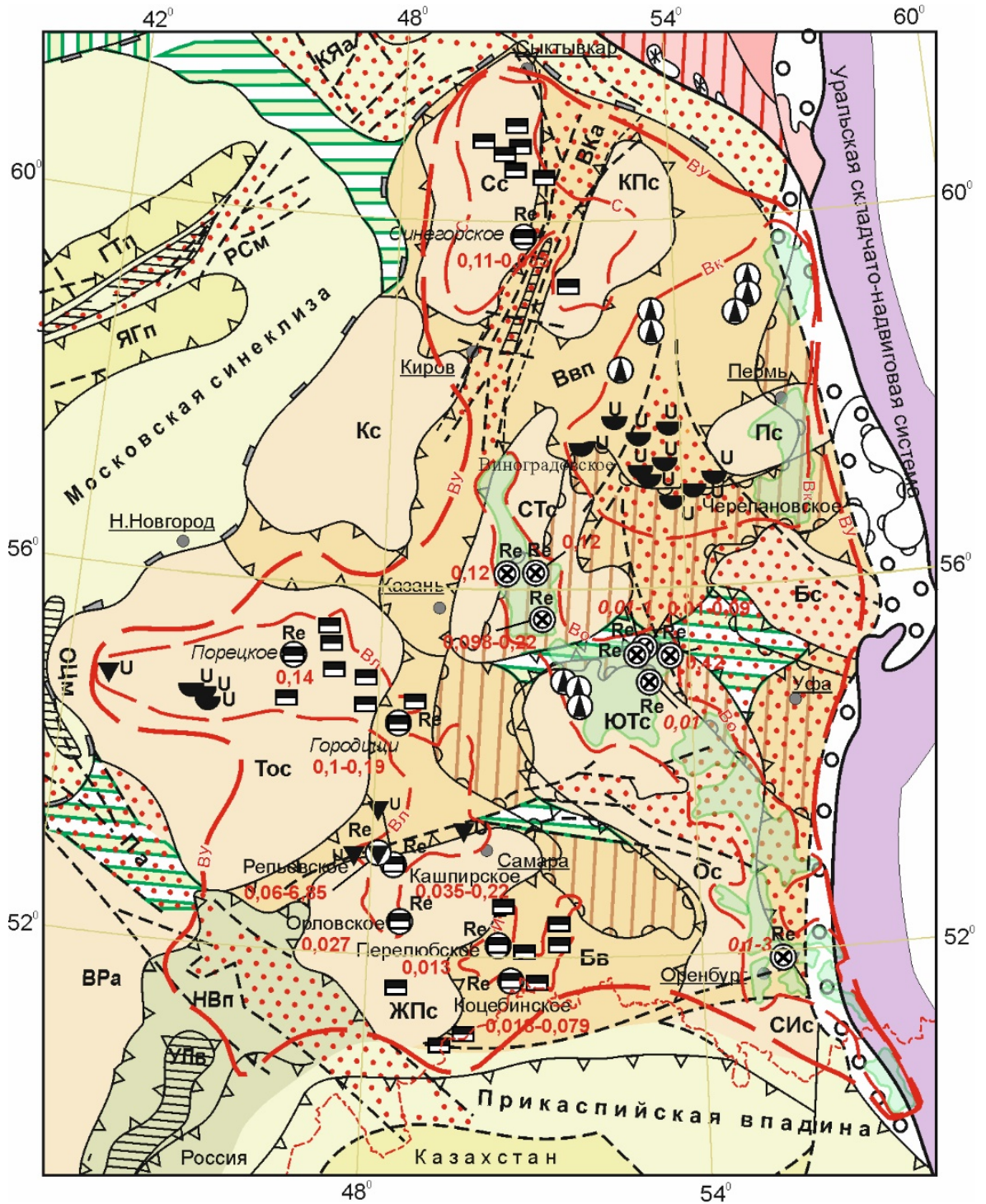


Рисунок 9. Схема Волго-Уральской ПРМО. Условные обозначения на рис. 7.

2. Битумная уран-ванадий-карбонатная и терригенно-карбонатная.

Репьевское уран-битумное месторождение [Уран российских ..., 2010] и несколько проявлений: Сызранское, Зольненское, Красноярское, Новоспасское и многочисленные пункты минерализации располагаются на северном склоне Жигулевско-Пугачевского свода, осложненного Жигулевским валом. Они приурочены к породам от карбона до перми, но основная его часть связана с кавернозными известняками и доломитами верхнего карбона (гжельский ярус).

Оруденение приурочено к локальным брахиантиклинальным и куполовидным поднятиям, осложняющим Жигулевский вал.

На Репьевском месторождении 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, типичны невысокие содержания рения (0,01–0,07 г/т).

Оруденение сформировано эксфильтрационными телетермальными растворами, поступающими в битуминозные породы по тектоническим каналам (эпигенетический тип, в связи с эксфильтрацией термальных вод, контролируемые восстановительной зональностью).

Перспективы на рений Волго-Уральской области также связаны с развитыми здесь ренийсодержащими медистыми песчаниками и сланцами, не изученными на рений месторождения урана палеодолинного типа, установленные в отложениях средней–верхней перми Верхнекамского ПРР, а также высокими содержаниями рения в нефтях: в северной части Верхнекамского района (Ильинское, Нефедовское, Золотаревское, Неждановское, Ромаршорское, Тукачевское нефтяные месторождения) [Минерагенический потенциал..., 2008] и в высоковязких нефтях Вятско-Оренбургского района: Лангуевское, Ашальчинское, Мордово-Кармальское [Торикова и др., 2005].

Металлогенический потенциал рения Волго-Уральской области оценивается в 4200 т, в том числе по районам: Сысольский – 600, Верхнекамский – 300, Вятско-Оренбургский – 900, Волжский – 1800, Иргизский – 600 т.

IV. Донецко-Маньчская ПРМО приурочена к протяженной Припятско-Доно-Мангышлакской палеорифтовой системе, входящей в состав «линеамента Карпинского» [Панов, 1988, 1994; Геология и пол. иск., 2006]. В пределах области выделены Донецко-Шахтинский ПРР, расположенный на территории Складчатого Донбасса и, частично, Днепровско-Донецкой впадины, и Калмыкский ПРР, приуроченный к центральной части кряжа Карпинского (рис. 10).

В пределах области известны различные ренийсодержащие объекты. Так, в Донецко-Шахтинской зоне также известны малоизученные на рений нижнепермские медистые песчанки (Бахмутская котловина и северная часть Кальмиус-Торецкой котловины) и уран-битумные месторождения: Адамовское, Краснооскольское, Берекское и ряд проявлений – Петровское, Ново-Дмитриевское, Бантышевское, Ново-Троицкое [Ермаков и др., 1968, Пеньков, 1989; Генетические типы..., 1995; Shumlyanskiy, 1997; Металлические..., 2005]. В уран-битумных рудах Адамовского месторождения отмечены повышенные содержания As, Zn, Pb (до 10×10–4%), Hg (до 0,01%), Re, Se (в отдельных пробах до 0,01%) [Генетические типы..., 1995].

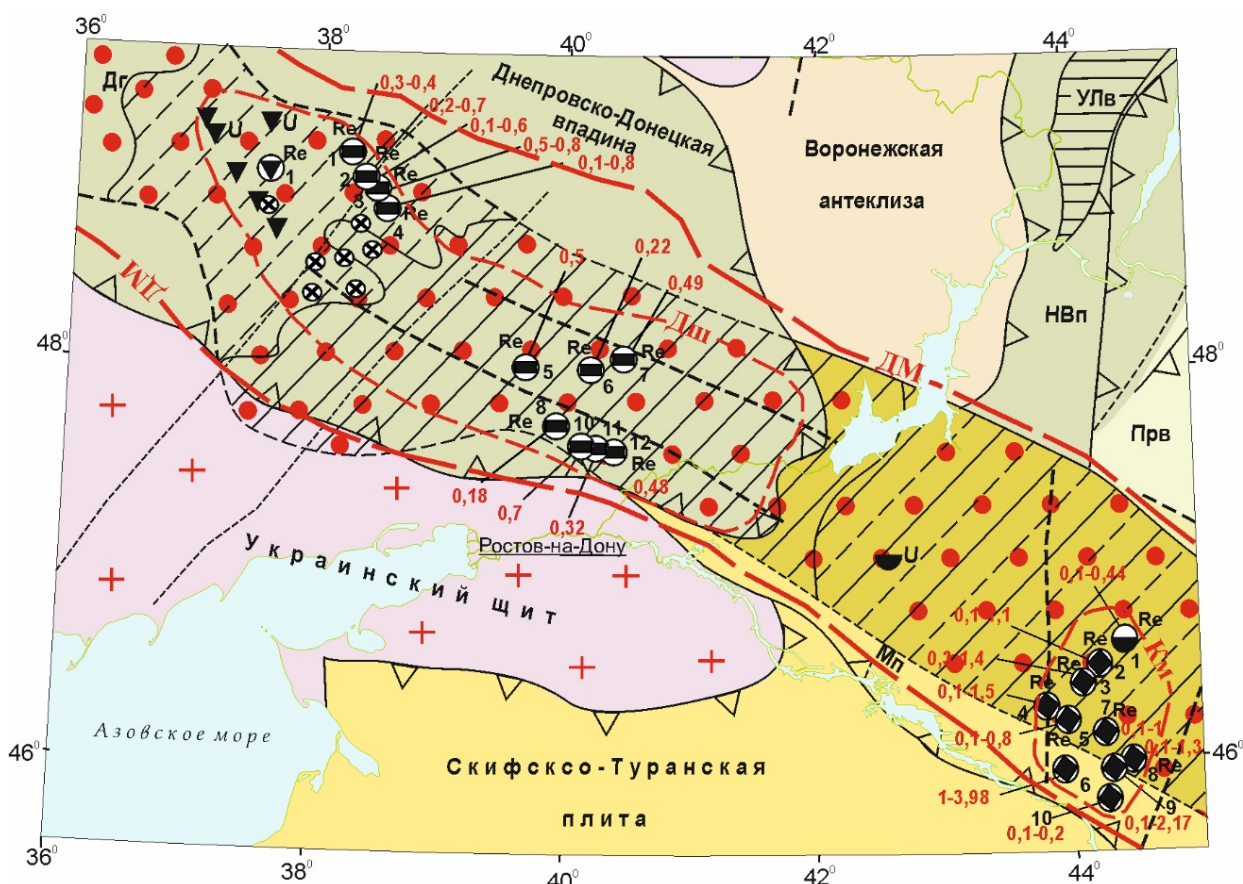


Рисунок 10. Тектоническая схема Припятско-Маньчской ПРМО.

Условные обозначения – на рис.б.

В Калмыкском ПРР установлено Балковское месторождение урана [Красных, 1996; Расулова и др., 2008; Шор и др., 2008], формация урановая терригенная палеодолин). Содержание Re в урановых рудах, локализованных в породах яшкульской толщи, составляет около 0,14 г/т (до 1,43 г/т) [Енгальчев, 2019].

Типичными ренийсодержащими формациями Донецко-Маньчской ПРМО являются фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах и каменноугольная.

1. Фосфорно-редкоземельно-урановая в связи с ихтиодетритом установлена на территории Калмыкского ПРР и в разрезе осадочного чехла приурочена к глинам майкопской серии, содержащим скопления костного детрита [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков, 2008]. Здесь установлено 13 месторождений (Степновское, Центральная, Яшкульско-Троицкая, Воробьевская, Нугринская, Северо-Харабулукская, Прудово-Южнобуратинская, Багабурульская, Шаргадыкская, Богородская залежи), десятки проявлений и многочисленные пункты минерализации. Глубина залегания рудных горизонтов, сложенных костным детритом, колеблется от 20 до 900 м.

Основными компонентами фосфорно-редкоземельно-урановых руд являются костный детрит рыб (фторапатит, франколит), сульфиды железа (пирит с примесью As, Cu, Ni, Mn, сфалерит), глины и карбонаты (кальцит).

Рений постоянно присутствует в составе руд Калмыкского ПРР, а его среднее содержание составляет 0,2–1,4 г/т, до 3,98 г/т [Столяров, Ивлева, 2008; Шарков и др., 2010]. Повышенные значения Re (1,5–2 г/т) приурочены к высокосернистым рудам и породам, обогащенным сульфидами железа (сульфидный тип руд $S > 20\%$). Анализ авторской выборки, состоящей из 212 анализов, показал, что рений ассоциирует с S ($r_{\text{Re-S}} = 0,67$) и Mo ($r_{\text{Re-Mo}} = 0,62$).

Наиболее изученными месторождениями района являются неглубоко залегающие объекты, пригодные для открытой отработки и, частично, скважинной гидродобычи: Шаргадык-Богородское рудное поле, Северо-Восточная часть Багабурульского рудного поля. Определена возможность извлечения Re в ходе переработки руд данного типа [Тюленева и др., 2013].

2. Каменноугольная формация. 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 [Жаров и др., 1996; Угольная база России, 2000]. Значимые содержания Re также установлены в промпродуктах обогатительных угольных фабрик «Донецкая», «Гуковская» и «Южная». Анализ данных свидетельствует о наличии в углях связи Re с Ag, V, Ni, Zn, Pb, Cu и Hg.

Угли с повышенными содержаниями Re (от 0,22 до 0,7 г/т) установлены в разрезах вблизи разрывных нарушений. Последние имеют поперечную ориентировку по отношению к основному простиранию складок.

Часть рения, вероятно, могла накапливаться в отложениях, обогащенных углеродом на син-диагенетическом этапе, при поступлении редких элементов из активизированных зон рифтогенной структуры в зону накопления торфов (в том числе в виде металлоносных рассолов), а также в составе вулканических пеплов, о существовании которых свидетельствуют многочисленные прослои преобразованных пепловых образований – тонштейнов, прослеживающихся на значительные расстояния в пределах Донецкого каменноугольного бассейна.

Металлогенический потенциал рения Донецко-Манычской области оценивается в 4950 т, в том числе по районам: Донецко-Шахтинский – 4500 т, Калмыкский 450 т.

Таким образом, на территории развития осадочного чехла Восточно-Европейской платформы выделены четыре потенциально-рениеносные перспективные области – Ижорская, Среднерусская, Волго-Уральская, Донецко-

Манычская, для каждой из которых определены профильные ренийсодержащие рудные формации.

При этом наиболее перспективными на промышленное освоение являются Среднерусская и Донецко-Манычская ПРМО.

Четвертое защищаемое положение

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.

В осадочном чехле Восточно-Европейской платформы установлено значительное природное разнообразие ренийсодержащих формаций, приуроченных к породным комплексам широкого возрастного диапазона: от ордовика до миоцена.

В результате обобщения многочисленных литературных, фондовых и авторских материалов по геологическому строению, вещественному составу и генезису ренийсодержащих формаций, материалам по геохимии рения и теоретическим разработкам в области моделирования рудоформирующих процессов были выделены два базовых (основных) процесса, приводящие к формированию ренийсодержащих формаций в осадочном чехле ВЕП: син-диагенетический и эпигенетический.

Как правило, остается не решенным вопрос об источнике рения. Установленные ренийсодержащие формации в большинстве своем амагматичны и отсутствует их явная связь с магматическими или вулканическими образованиями. При этом для ряда рудных объектов региона установлен контроль их размещения со стороны тектонических структур в осадочном чехле (склоны поднятий, разрывные нарушения, флексуры), часто имеющих глубинное заложение, а также погребенных рифейских рифтов (авлекогенов) и пограничных зон древних блоков фундамента.

Основным механизмом концентрирования рения в осадочных породах является его осаждение (фиксация) из водных растворов в осадках, обогащенных органическим веществом или в породах, обладающих высокой пористостью и сорбционной способностью, что определяется химическими свойствами рения в условиях верхней зоны земной коры.

Морские бассейновые воды являются промежуточным концентратом целого ряда элементов и существенным источником урана и, вероятнее всего, рения (его кларк в морской воде составляет 0,006 мкг/л [Юдович, Кетрис, 1994]), при образовании месторождений в битуминозных сланцах.

Для медистых песчаников и сланцев (Приуралье, Донбасс), содержащих Re (а также Au, Ag, ЭПГ), можно полагать, что он 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 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 на территории Волго-Уральской антеклизы и в краевой части Днепровско-Донецкой впадины.

Дополнительным источником рения мог являться пирокластический материал (пеплы), поступающий в осадочный бассейн на стадии седиментации, который часто фиксируется в составе углеродистых сланцев [Юдович, Кетрис, 1994, 2010; Давыдова и др., 1970; Вялов и др., 2013].

Накопление рения, по аналогии с ураном, могло происходить и при участии живых организмов. Так, известно о прижизненном накоплении урана в тканях живых организмов [Неручев, 1982]. Рений обладает органофильными свойствами и накапливается в тканях растений [Калинин, Файн, 1977; Брукс, 1983; Иванов, 1997], так его содержание в золе растений, произрастающих на территории Джебказганского месторождения, составляет 1 г/т, а при их размещении на хвостохранилище могут достигать 10–170 г/т [Калинин, Файн, 1977].

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 (в майкопских отложениях Калмыкии). Накопление в них рения определяется не только наличием органического вещества в осадках, но масштабом процесса и его длительностью, а также сохранностью сформированных залежей.

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). Однако далеко не всегда это можно точно установить.

Эпигенетические (инфильтрационные и эксфильтрационные) комплексные (Mo, U, Re, Se, Sc, Y, REE) месторождения и проявления широко распространены.

Ренийсодержащие формации осадочного чехла 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.

Проявление эпигенетических процессов в осадочном чехле ВЕП своеобразно и во многом определяется отсутствием в обрамляющей «раме» орогенных областей мезозойского и кайнозойского возраста, что не позволяет ожидать масштабного проявления окислительного эпигенетического гидрогенного рудообразующего процесса, связанного с масштабными зонами пластового окисления по аналогии с Притяньшанской провинцией [Грушевой и др., 1999]. Но при этом значительный интерес вызывают палеодолины (палеодепрессии) в разновозрастных (палеозойского, мезозойского и кайнозойского возраста) отложениях осадочного чехла, которые потенциально являются структурами для локализации инфильтрационного оруденения, сформированного зонами грунтово-пластового и грунтового окисления.

Источники рения в эпигенетическом процессе разнообразны: породы и рудные образования, содержащие рений в незначительных количествах; породы, специализированные на рений (черные сланцы, угли и др.). При этом их важнейшим свойством должно быть наличие Re в легкоподвижной форме.

Промышленные концентрации рения, связанные эпигенетическими процессами, установлены в следующих формациях: урановая в угленосных отложениях (Re-Mo-U 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 платформы определяется интенсивностью проявления двух основных процессов: накопления в синдиagenезе, когда рений из придонных вод мог накапливаться в осадках, обогащенных органическим веществом; эпигенетическими процессами, когда рений (часто в ассоциации с ураном, молибденом, селеном) мигрирует в окислительных кислородных подземных водах и осаждается совместно с элементами-спутниками на восстановительном и сорбционном барьере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе сбора, обобщения и анализа массива, литературных, фондовых материалов и авторских данных выделены и охарактеризованы разновозрастные ренийсодержащие рудные формации, определен их вещественный состав, разработаны геолого-генетические модели формирования, выявлены пространственно-временные закономерности их размещения в осадочном чехле ВЕП, установлены их поисковые признаки и прогнозные критерии и дана региональная научно-обоснованная оценка ренийности осадочного чехла региона.

На современном уровне проведен сбор, обобщение и анализ имеющихся опубликованных, фондовых и авторских материалов по ренийности осадочного чехла, касающиеся строения, вещественного состава, особенностей локализации и условий формирования ренийсодержащих и перспективных на рений объектов в осадочном чехле ВЕП.

Выполнены литологические, петрографические и минералого-геохимические исследования различных рениевых объектов с использованием современного аналитического оборудования (в том числе позволяющих определять рений 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, C_{орг.}, Se, Sc, V), а также Ni, Co, Zn, Pb, Sr, Ba, As, REE, Y, Cd, Ga, Ge, Tl, Sb, Ag, Th, Bi, Hg и петрогенных оксидов (Fe₂O₃, P₂O₅, Al₂O₃, TiO₂).

Выделены ренийсодержащие рудные формации и дана их характеристика.

Впервые для ряда объектов различных ренийсодержащих рудных формаций установлены формы нахождения рения (подвижные и минеральные формы). Полученные данные будут использованы для разработки эффективной технологии извлечения рения.

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.

Выполнен региональный металлогенический анализ на Re территории развития осадочного чехла. Выделены потенциально рениевые металлогенические области (4) и районы (15) и дана их характеристика.

Выполнен сравнительный анализ перспективных объектов на рений с оценкой их значимости и возможной очередности освоения. Сформулированы практические рекомендации по направлению дальнейших поисков рения в регионе.

Представленные в работе материалы использованы при составлении Государственных геологических карт масштаба 1:1 000 000 (третье поколение) и 1:200 000 (второго поколения). Полученные в ходе работы материалы по особенностям формирования ренийсодержащих рудных формаций и пространственно-временные закономерности их размещения на территории развития осадочного чехла ВЕП найдут применение для разработки теоретических основ оценки ренийности осадочных комплексов платформенных областей, металлогении осадочных бассейнов и региональной геохимии рения.

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 в рудах по сравнению с другими металлами невысокое. Минимизация этих затрат может являться ключевым критерием для определения рентабельности производства.

Приведенные выше материалы свидетельствуют о высоком ресурсном потенциале территории, 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.

Список опубликованных работ автора по теме диссертации

В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Панова Е. Г., **Енгальчев С. Ю.**, Фадин Я. Ю., Олейникова Г. А., Тихомирова И. Ю. Черные сланцы – нетрадиционный источник благородных металлов и рения // Записки Горного института. – 2024. – Т. 269. – С. 789–802.
2. **Енгальчев С. Ю.** Новые данные о минеральном составе уникальных рениевых (U-Mo-Re) руд Брикетно-Желтухинского месторождения Подмосковского бассейна // Докл. РАН. 2019. – Т. 485. – № 4. – С. 464–467.
3. **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. – 2019. – № 3. – С. 55–63.
4. **Енгальчев С. Ю.** Рений и селен в верхнеюрской сланцевой толще разреза «Городищи» в центральной части Волжского сланцевого бассейна // Журнал «Литосфера». – 2019. – Т. 19. – № 5. – С. 704-716.

5. **Енгальчев С. Ю.** Рениеносность верхнеюрских горючих сланцев центральной части Волжского сланцевого бассейна / Самойлов А. Г., Енгальчев С. Ю., Зозырев Н. Ю., Шелепов Д. А., Илясов В. Н. // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 75. – С. 67–78.

6. **Енгальчев С. Ю.** Уран-молибден-рениевое оруденение в верхнедевонских отложениях нижнего течения реки Ловать на юго-востоке Главного девонского поля / Енгальчев С. Ю., Вербицкий И. В., Бутаков П. М. // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 74. – С. 90–97.

7. **Енгальчев С. Ю.** Рений в отложениях волжского яруса центральной части Волжского сланцевого бассейна / Самойлов А. Г., Зозырев Н. Ю., Енгальчев С. Ю., Шелепов Д. А., Илясов В. Н. // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2017. – Т. 17. – Вып. 1. – С. 58–61.

8. **Енгальчев С. Ю.,** Пуговкин А. А., Лебедева Г. Б. Геолого-структурные критерии локализации уран-молибден-рениевого оруденения в восточной части Подмосковского бассейна / Енгальчев С. Ю., Пуговкин А. А., Лебедева Г. Б. // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 62. – С. 97–104.

9. **Енгальчев С. Ю.** Перспективные на рений объекты в осадочном чехле северо-запада Русской плиты // Разведка и охрана недр. – 2013. – № 5. – С. 5–8.

10. **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. – 2013. – № 1. – С. 75–88.

11. **Енгальчев С. Ю.** Рениеносность осадочных комплексов чехла Европейской части России: структурно-вещественная характеристика и вопросы генезиса // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2013. – № 2. – С. 46–52.

12. **Енгальчев С. Ю.** Многоуровневые урановорудные районы европейской части России // Региональная геология и металлогения. – 2012. – № 49. – С. 101–106.

13. **Енгальчев С. Ю.** Структурная позиция и геолого-генетическая модель формирования урановых объектов Южного Приильменья на северо-западе Русской плиты // Региональная геология и металлогения. – 2012. – № 50. – С. 73–79.

14. **Енгальчев С. Ю.** Восходящие флюидные разгрузки и металлогения плитных комплексов Восточно-Европейской платформы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2011. – № 2. – С. 16–25.

15. **Енгальчев С. Ю.** Эпигенетические молибден-урановые новообразования в девонских отложениях запада Псковской области: состав, структурная позиция и условия формирования // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 46. – С. 61–66.

В других изданиях:

Монографии

16. **Енгальчев С. Ю.**, Панова Е. Г. Геохимия девонских песчаников восточной части Главного девонского поля / Енгальчев С. Ю., Панова Е. Г. Издательство СПбГУ, 2008. – 100 с.

17. Рифовые, соленосные и черносланцевые формации России /отв. ред.: Г. А. Беленицкая, О. В. Петров, Н. Н. Соболев / 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. Енгальчев**, Ю. Б. Миронов, Е. О. Петров, Н. Ф. Полякова, Б. И. Чувашов (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 355). – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2015. – 619 с.

18. **Енгальчев С. Ю.** Рениеносность осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 359). – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 288 с.

19. 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. – 152 с.

Статьи

20. **Енгальчев С. Ю.** Рениеносность юго-восточной части Подмосковского потенциального урановорудного района // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информационный сборник КНТС по геологии урана. Вып. 159. / **Енгальчев С. Ю.**, Пуговкин А. А., Лебедева Г. Б. – М., 2015. – С. 179–187.

21. **Енгальчев С. Ю.** Рений в уран-полиэлементных объектах осадочного чехла северо-запада Русской плиты // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информационный сборник КНТС по геологии урана. Вып.156. – М.: ВИМС, 2011. – С. 50–55.

22. **Енгальчев С. Ю.** Структурные и гидрогеологические особенности локализации урановых месторождений в палеоврезах крупных речных систем на примере объектов Палео-Дона / Шор Г. М., **Енгальчев С. Ю.**, Жучкова М. К., Тихонов В. И., Рогачев В. Н. // Материалы по геологии месторождений урана, редких и редкоземельных металлов: Информационный сборник КНТС по геологии урана. Вып.153. – М.: ВИМС, 2009. – С. 59–65.

Тезисы конференций

23. **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.

24. **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». – М., 2011. – С. 5–49.

25. **Енгальчев С. Ю.** Минералы селена в цементе песчаников миоцена Калмыкии как индикаторы постседиментационных процессов // Минеральные индикаторы литогенеза. – Сыктывкар, 2011. – С. 223–225.

26. **Енгальчев С. Ю.** Скопления костного детрита рыб в глинах майкопской серии в Калмыкии как индикатор сингенетичных подводных газово-флюидных разгрузок. Минеральные индикаторы литогенеза. – Сыктывкар, 2011. – С. 294–295.

27. Панова Е. Г., Казак А. П., **Енгальчев С. Ю.**, Сапега В. Ф. Минеральные индикаторы эндогенной активности в осадочном чехле северо-запада Русской платформы / Панова Е. Г., Казак А. П., Енгальчев С. Ю., Сапега В. Ф. // Минеральные индикаторы литогенеза. – Сыктывкар, 2011. – С. 242–244.

28. **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. – М., 2010. – С. 157–159.

29. **Енгальчев С. Ю.** Геолого-генетическая модель нового типа урановых месторождений, приуроченных к палеоврезам в низовьях Палео-Дона / Шор Г. М., Енгальчев С. Ю., Гузенина Е. А. / Материалы II Всероссийской конференции по прикладной геохимии «Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений». – Воронеж, 2009. – С. 221–223.

30. **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. 499502.

Государственные геологические карты

31. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объясн. зап. / В. Р. Вербицкий [и др.]. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 510 с.

32. 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: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 462 с.

33. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-38 – Пенза, 2019. – 406 с.

34. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-39 – Казань–Самара, 2021. – 467 с.

35. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (третье поколение). Серия Ильменская. Лист О-36-XXVI (Холм), 2022. – 124 с.