

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института геологии и геохимии

им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения
Российской академии наук (ИГГ УрО РАН)

д.г.-м.н., профессор РАН

Д.А. Зедгенизов

«13» апреля 2025 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу **Енгальчева Святослава Юрьевича «Рениеносность осадочного чехла Восточно-Европейской платформы»**, представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности: 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

1. Актуальность темы диссертации.

Рений является рассеянным элементом, почти не образующим собственных минералов и месторождений. В то же время, он находит все большее применение в промышленности в качестве добавки к специальным сплавам, повышающей их жаропрочность и кислотоустойчивость. Именно поэтому он внесен в список стратегического минерального сырья Российской Федерации. Традиционными источниками рения как попутного компонента являются медно-порфировые месторождения, медистые песчаники, гидрогенные месторождения урана, углеродсодержащие осадочные породы и др. Однако общая изученность рениеносности России довольно низкая, тогда как в современной непростой экономической ситуации есть острая необходимость прогнозной оценки его ресурсов. Поэтому крайне актуальными являются результаты диссертационной работы С.Ю. Енгальчева, характеризующей рениеносность осадочного чехла Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Здесь известны несколько мелких объектов, разведаны два месторождения (Re-Mo-U Бельское и Брикетно-Желтухинское), обнаружен ряд проявлений Re в угленосных отложениях нижнего карбона. Высокая достоверность прогнозно-металлогенической оценки обусловлена комплексным подходом, включающим анализ геологического строения Европейской части РФ, широкий обзор геохимических характеристик вмещающих толщ, использование современных аналитических методов, которые позволяют скорректировать ранее полученные данные по рениеносности отложений чехла ВЕП. Это делает весьма актуальной задачей разработку генетических моделей накопления рения в благоприятных геологических обстановках.

2. Научная новизна работы.

Известно, что рений не образует собственных рудных формаций, а является попутным компонентом в ряде рудоносных горизонтов. С.Ю. Енгальчевым впервые выполнено систематическое описание вещественного состава, строения, условий локализации и особенностей формирования рениеносных фанерозойских осадочных толщ чехла ВЕП и выделено 9 рениеносных рудных формаций, приуроченных к разному типу внутриплитных геодинамических обстановок. Это позволило выявить закономерности размещения рений-содержащих рудных формаций в осадочном чехле ВЕП. Показано, что главными благоприятными факторами для их локализации являются проницаемость

осадочного чехла и его структурно-тектоническое взаимодействие с фундаментом при определяющей роли тектонических нарушений как каналов для вертикальной флюидной миграции.

Экспериментально путем селективного экстрагирования впервые для ряда рудных ренийсодержащих формаций установлены формы нахождения Re в осадочных толщах: подвижная (водорастворимая) и минеральная (Re прочно связан в составе сульфидной минерализации и сорбирован битумным или углистым органическим веществом).

Автором собрана большая (до 2000 проб) база петрогеохимических данных по содержаниям в ренийносных толщах индикаторных петрогенных компонентов (Fe_2O_3 , P_2O_5 , Al_2O_3 , TiO_2), Re и комплекса сопутствующих ему микроэлементов: Mo, Cu, U, Co, Cr, Se, Sc, V и др., концентрации которых определены с помощью современного аналитического оборудования.

3. Научные результаты.

В **главе 1** дан обзор сведений о геохимии рения, описание ренийносных формаций мира. Поскольку рений является только попутно извлекаемым элементом, автором вводится ключевое понятие «ренийсодержащие рудные формации», перспективные на его извлечение.

Анализ литературных и собственных данных позволил автору выделить более десяти ренийсодержащих рудных формаций. Девять из них им рассмотрены детально, показана их перспективность для проведения поисковых работ в чехле ВЕП. Указаны возможные аналоги этих формаций в различных регионах мира, подчеркнута их возможная продуктивность.

Авторский список фиксирует новые потенциально важные типы и не включает в себя «популярные» формации Re-носных Cu-Mo порфировых руд, ресурсы которых в РФ невелики. Отмечается важность обнаружения ренийсодержащих объектов гидрогенного инфильтрационного типа (комплексные U-Mo-Re-Se руды), нетрадиционных ренийсодержащих формаций, в основном связанных со скоплениями органических остатков в осадочных отложениях, вулканических фумарольных полей (пример - о. Итуруп, Курильские острова) и др.

ЗАМЕЧАНИЕ к гл. 1, с. 21: В тексте указано, что в Российской Федерации Государственным балансом учтены запасы рения в пяти месторождениях медно-молибден-порфирового семейства, расположенных на Алтае со ссылкой на табл. 1.1. Однако в этой таблице указаны только Cu-Mo месторождения Тувы, Бурятии, Хакасии и Южного Урала.

Глава 2 посвящена описанию основных черт геологического строения Восточно-Европейской платформы и минерагении осадочного чехла.

Степень изученности геологического строения ВЕП достаточно детальна, выявлены сложность и многоэтапность формирования ее фундамента и осадочного чехла, однако возникает все больше вопросов относительно минерагенических аспектов в геологической истории ВЕП. Автором построена детальная схема тектонического районирования Восточно-Европейской платформы, выполненная на геодинамической основе. Показано, что важным элементом строения фундамента является образование сети рифейских авлакогенов, пространственное размещение над раннедокембрийскими складчатыми поясами.

В строении авлакогенов проявлены закономерности: в центральной части платформы они имеют узкую линейную форму и заполнены вулканогенно-грубообломочным материалом, а в периферических частях платформы — более широкую, с тонкообломочным выполнением с переходом в перикратонные прогибы. Цокольная часть авлакогенных структур описана не всегда, особое внимание уделено осадочному чехлу, представленному отложениями верхневендско-неогенового структурного этажа (также подразделяется на два подэтажа и несколько структурных ярусов по возрасту отложений). Разнообразные структуры осадочного чехла описаны подробно, с указанием мощности и состава многочисленных впадин и синеклиз, валов и кольцевых структур. Показано, что многие из них (Балтийская синеклиза, Мазурско-Белорусская антеклиза и Вислянско-Днестровская

зона перикратонных погружений, Львовско-Люблинский прогиб, Московская и Мезенская синеклизы, линеймент Карпинского и др.) имеют важное минерагеническое значение.

В **главе 3** описана степень изученности ВЕП на рений (вывод – слабая и неравномерная) и дана характеристика ренийсодержащих формаций. Среди них автором выделено девять формаций, достойных дальнейшего изучения. Все они связаны с осадочными толщами, обогащенными захороненным органическим веществом (углеродистых сланцев, в том числе горючих, битумов и углей ряда бассейнов), что рассматривается автором как «рениевая геохимическая специализация» и подробно иллюстрируется геохимическими данными. Это следующий набор формаций:

1) V-Mo-U-урановая, приурочена к битуминозным углеродистым дикиноновым сланцам нижнего ордовика северо-западных районов ВЕП.

2) Горючих сланцев (кукерситы) среднего ордовика Прибалтийского сланцевого бассейна и верхнеюрских сланцев субмеридиональной Волжско-Печорской сланценовой провинции.

3) Каменноугольная формация в каменных углях (средний карбон) Донецкого бассейна.

4) Фосфорно-редкоземельно-урановая формация в связи с ихтиодетритом, приурочена к органогенно-фосфатным ураново-редкометалльным рудам в отложениях майкопской серии (поздний олигоцен – ранний миоцен) на территории вала Карпинского.

5) Медистых песчаников и сланцев; в России ограничено развита в пермских отложениях на Донбассе, в Приуралье, Вятско-Камской меденосной полосе.

6) Урановая терригенная формация палеодолин (с Re, Mo, Se). В осадочном чехле ВЕП распространено непромышленное урановое оруденение данного типа, сформированное инфильтрационными процессами в зонах грунтово-пластового окисления.

7) Урановая в угленосных отложениях в осадочном чехле ВЕП представлена Re-Mo-U месторождениями (Бельское, Брикетно-Желтухинское) и рядом проявлений в угленосных отложениях нижнего карбона Подмосковского бассейна. Произведено датирование ядерных зон и новообразованных кайм детритовых цирконов из песков рудных интервалов Бельского месторождения. Выявлено три этапа: 250–370 млн лет – этап седиментации (C1); 120–100 млн лет – второй этап (K1) и третий этап 90–60 млн лет. Следовательно, Бельское Re-Mo-U месторождение является эпигенетическим и связано с раннемеловым этапом активизации погребенного фундамента. Это подтверждается приуроченностью наиболее богатых руд к субвертикальным разрывным нарушениям.

8) Молибденовая в пестроцветных отложениях. Формация представлена Печорским Re-Mo-U проявлением (Псковская область) в девонских пестроцветных песчано-глинистых отложениях на С-3 ВЕП. Возраст оруденения по изотопным данным – меловой, эпигенез мог быть проявлен при образовании региональной Рижско-Псковской тектонической зоны восходящей флюидной миграции из фундамента (предполагаемый источник Re, U, Mo, Ag, V, Se).

9) Битумная уран-ванадий карбонатная и терригенно-карбонатная формация. На территории ВЕП такие месторождения связаны с зонами восстановления в карбонатных толщах, в Среднем Поволжье, Жигулёвские дислокации (уран-битумное месторождение Репьевское и ряд проявлений); в зоне сочленения Складчатого Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины (Адамовское, Берекское и др.).

Детальный анализ рениевых формаций позволил автору выделить среди них четыре наиболее промышленно значимых формаций: урановая в угленосных отложениях, фосфорно-редкоземельно-урановая в глинах с ихтиодетритом, ванадий-молибден-урановая в битуминозных сланцах, каменноугольная.

Замечание-уточнение к гл. 3. Одним из аргументов, указывающим на наложенный механизм образования Re (совместно с U и Mo) в Бельском месторождении служит указание на отсутствие этих элементов в самих угольных пластах. То есть накопление Re, U и Mo связано с их осаждением на восстановительном барьере в краевых частях угольных пластов в

зонах миграции эпигенетических флюидов (этапы нижний и верхний мел). Возможно, это и есть надрифтовая активизация с перераспределением или привносом Re совместно с U и Mo? Тогда надо акцентировать внимание на механизмах образования эпигенетического оруденения в структурах, относящихся к надрифтовым впадинам.

Замечание к гл. 3, стр. 133. Возникает сомнение в корректности приводимых в литературе и используемых автором датировок аутигенных кайм в детритовых цирконах из песков (Бельское месторождение). Не ясно, каким мог быть механизм роста таких кайм, если гидротермальные процессы преобразования песков (даже не песчаников) в данном случае не фиксируются (или не описаны)?

Глава 4 посвящена закономерностям размещения ренийсодержащих формаций в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы. Автором на геодинамической основе создана схема размещения ренийсодержащих формаций в осадочном чехле региона в привязке к этапам развития. Сделан вывод о наибольшем разнообразии формаций на герцинском этапе (поздний палеозой), что связано с активизацией погребенного древнего фундамента. Помимо геохронологических, установлены пространственные закономерности размещения формаций. Показано, что к краевой части ВЕП приурочено большинство формаций, в особенности — медистых песчаников, часто сопряженных с нефтегазоносными, битумными и солеродными формациями. Поэтому высказано закономерное предположение об экстрагирующей роли рассолов и вод углеводородных бассейнов в мобилизации рения из нижележащих толщ, в том числе и пород фундамента. Преимущественная локализация урановой минерализации в угленосных и пестроцветных отложениях центра ВЕП объясняется наличием тектонической активности в бортах древних авлакогенов или зон сочленения трех блоков кристаллического фундамента. Подобную ситуацию можно интерпретировать как молодые зоны активизации в надрифтовых впадинах. В масштабе геологического времени это приводит к многоуровневому размещению ренийносных формаций в определенных областях. Подробный анализ пространственно-временного размещения ренийсодержащих объектов в осадочном чехле ВЕП дает автору инструмент для регионального прогнозирования.

Глава 5 посвящена прикладным аспектам, касающимся выявления территорий, перспективных на рений. Показано, что ключевыми для проведения металлогенического анализа на рений в чехле ВЕП являются разномасштабные (регионального и районного уровней) рудоконтролирующие факторы: тектонический, литологический, гидрогеологический и палеогеоморфологический. В соответствии с Металлогеническим кодексом России, выделены и описаны 4 потенциально ренийносные металлогенические области (ПРМО) и 15 потенциально ренийносных районов (ПРР).

Замечание к главе 5. При описании тектонических рудоконтролирующих факторов регионального уровня уделено мало внимания структурам типа надрифтовых впадин, в то время как использование этой структурной единицы позволит: 1) проследивать перспективные районы накопления сингенетичных ренийносных рудных формаций, 2) выделять перспективные области для проявления эпигенетических процессов миграции рения и локализации рудных тел (в частности, в пределах Подмосковского и Донецкого угольных бассейнов. Кстати, косвенно это утверждается в главе ЗАКЛЮЧЕНИЕ, стр. 264: «над погребенными рифтовыми зонами ... часто формируются **впадины**, ... образуются участки повышенной трещиноватости проницаемые для флюидов»).

В **главе 6** автор оценивает геолого-генетические аспекты накопления рения в породах осадочного чехла Восточно-Европейской платформы, формы нахождения этого элемента, возможные источники и факторы локализации оруденения. Им выполнено количественное изучение форм нахождения рения для основных перспективных ренийсодержащих формаций, обосновано его присутствие в прочносвязанной минеральной (рассеянная сульфидная минерализация) и слабосвязанной водорастворимой (молекулярных и коллоидных комплексов) формах. Показано, что для ряда объектов наблюдается явный структурный контроль, установлен молодой возраст Re-минерализации относительно

вмещающих пород. Поэтому в качестве источников Re прогнозируются как терригенные породы из области сноса, так и воды палеобассейна (в том числе эксфильтрационные термальные), а также в ряде случаев — пирокластический материал и вулканические гидротермы (фумарольные газы вулкана Кудрявый на Курильской гряде).

В результате обобщения имеющихся материалов разработаны частные геолого-генетические модели для каждого типа Re-содержащих формаций, учитывающие три главные составляющие рудообразующей системы: источник вещества, зону транспортировки (тепло- и массопереноса), область концентрированного рудоотложения. Автор применяет для объяснения генезиса рудных формаций две модели: сингенетическую (с участием биогенного и эксгальационного факторов) и эпигенетическую (перенос и накопление рудных концентраций рения в зоне влияния окислительных процессов совместно с U и Mo).

В **Заключении** подведены итоги фундаментального комплексного исследования закономерностей распределения рения и ряда других редких элементов в чехле ВЕП, основанные на представлениях о проницаемости осадочного чехла, его неразрывной историко-геологической и структурно-тектонической связи с образованиями фундамента. Подходы автора к проведению металлогенического анализа на рений должны найти применение для разработки теоретических основ оценки ренийности осадочных комплексов различных платформенных областей.

Степень обоснованности полученных геохимических данных определяется представительностью каменного материала, применением широкого спектра современных методов изучения вещества, что позволило выявить содержания рения и ряда сопутствующих химических элементов в пробах и определить формы их нахождения. Метрологические характеристики химико-аналитических определений соответствуют нормативным требованиям.

4. Практическая ценность работы.

Автором выявлены основные закономерности размещения ренийносных рудных формаций ВЕП, установлены их прямые поисковые признаки и прогнозные критерии регионального уровня. В чехле ВЕП выделены четыре перспективные потенциально ренийносные области, для каждой из которых определены профильные ренийсодержащие рудные формации. Наиболее благоприятными для промышленного освоения признаны Среднерусская и Донецко-Маньчжурская потенциально Re-носные металлогенические области.

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

Данные о подвижных и связанных формах нахождения рения в составе ренийсодержащих руд могут быть использованы для повышения эффективности методики подземного выщелачивания для извлечения этого элемента.

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

Новые данные, полученные автором по типизации ренийносных рудных формаций, а также разработанные сингенетическая и эпигенетическая модели формирования комплексных инфильтрационных и эксфильтрационных месторождений редких и рассеянных элементов могут быть рекомендованы **к использованию в учебных курсах** по специальности «Геология рудных месторождений» и курса специальности 1.6.10 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» для аспирантов.

Имеются Замечания к формулировкам Защищаемых положений.

I и II положения сформулированы несколько сумбурно и не вполне логично, одинаково перенасыщены названиями одних и тех же рений-содержащих рудных формаций. I положение следовало бы посвятить выделению типов формаций в привязке (каждой из них) к возрасту, а II положение, как видно из его контекста — размещению и факторам локализации. Возраст там явно лишний, перегружает формулировку и мешает восприятию.

Лучшим началом были бы фразы, имеющиеся в тексте работы: установлены закономерности пространственного размещения (и далее — что приурочено к центру ВЕП, а что — к периферии) и факторы, контролирующие это размещение (их перечисление).

III защищаемое положение также весьма громоздкое, вполне бы хватило первого и последнего предложений.

С.Ю. Енгальчев является автором 15 статей из списка, рекомендованного ВАК, в части статей он первый, а иногда единственный автор. Кроме того, имеется авторская монография 2019 на тему диссертации и серия из нескольких коллективных монографий ВСЕГЕИ, а также участие в издании серии Государственных геологических карт м-ба 1:1000000 и 1:200000.

Диссертация прекрасно иллюстрирована, содержит огромное количество геохимических данных, сведенных в таблицы для удобства восприятия информации. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Автореферат и Диссертация отвечают требованиям, предъявляемым ВАК РФ. У авторов настоящего отзыва нет сомнений в том, что диссертация С.Ю. Енгальчева в полной мере соответствует критериям, изложенным в «Положении о присуждения ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сент. 2013 г. (№824) (ред. От 26.10.2023).

Диссертационная работа Енгальчева Святослава Юрьевича является законченной научно-квалификационной работой, главными **научными достижениями** которой являются: **выделение и системное изучение рениеносных рудных формаций в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы, 2) установление основных пространственно-временных закономерностей их размещения, 3) разработка моделей сингенетического и эпигенетического образования рудоносных горизонтов, 4) выделение потенциально рениеносных областей.**

Защищаемые положения являются обоснованными, соответствуют специальности 1.6.10 - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения. Енгальчев Святослав Юрьевич заслуживает присуждения искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 - Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого Совета ИГГ УрО РАН 15 апреля 2025 года протокол № 5.

Ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук
тел.: +7-9126730045, e-mail: mkrupenin@mail.ru

М.Т. Крупенин

Главный научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук
тел.: +7(343) 287-90-34, e-mail: murzin@igg.uran.ru

В.В. Мурзин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук,
Почтовый адрес 620110, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, стр. 15, тел.-факс: (343) 287-90-12, e-mail: director@igg.uran.ru