УДК 551.4.075 (470.51) DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.202

ЭВОЛЮЦИЯ РУСЛОВЫХ СИСТЕМ ОТ НИЖНЕГО КАРБОНА ДО КВАРТЕРА (НА ПРИМЕРЕ УДМУРТИИ)

А.Г. Истомин[1], И.И. Рысин[2]
[1] ГК «Дальпромсинтез»,
[2] Удмуртский госуниверситет,
г. Ижевск, Россия
rysin.iwan@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся материалы по морфометрическим и литолого-стратиграфическим характеристикам палеорусел визейского яруса нижнего карбона и неоген-четвертичного времени на территории Удмуртской Республики, представляющие интерес как эволюционные звенья эрозионных форм. Представлены материалы геофизических исследований (наземной сейсморазведки в комплексе с данными бурения) с применением метода общей глубинной точки (МОГТ) в пределах Чутырско-Киенгопской группы месторождений нефти на площади более 1,8 тыс. км^2 за период с 1999 по 2017 гг. Целевым назначением исследований являлось уточнение геологического строения для определения границ перспективных поднятий, контролируемых залежи углеводородного сырья. При интерпретации трехмерных массивов данных, полученных в результате реализации съемок МОГТ-3D, за счет разницы в акустических свойствах терригенных пород, составляющих тело палеорусла, и вмещающих карбонатных пород подстилающей толщи, эрозионный объект выделялся более однозначно на палеогеоизохронных сечениях терригенной толщи визейского яруса. В результате было выделено палеорусло, имеющее линейную форму с зачатками излучин, протяженностью более 60 км и шириной от 1,5 км на севере до 2,5–4 км в центральной и южной части изучаемой территории. Глубина речной палеодолины изменялась от 60 м в северной части до 80–100 м в центральной и сокращалась до 35–50 м в южной

EVOLUTION OF CHANNEL SYSTEMS FROM THE LOWER CARBON TO THE QUARTER (BY THE EXAMPLE OF UDMURTIA)

Alexandr G. Istomin[1], Ivan I. Rysin[2]
[1] GC "Dalpromsintez", [2] Udmurt State University, Izhevsk, Russia

rysin.iwan@yandex.ru

Abstract. Here, paleochannels of different geological periods are considered as evolutionary links of erosional systems. The paper presents the materials of geophysical studies (land seismic survey in combination with drilling data) using the common depth point (CDP) method within the Chutyrsko-Kiengopskaya group of oil fields over an area of more than 1.8 thousand km^2 for the period from 1999 to 2017. As a result, a paleochannel was identified, which has a linear shape with the beginnings of meanders, more than 60 km long and from 1.5 km in the north to 2.5–4 km in the central and southern parts of the study area. The depth of the river paleovalley varied from 60 m in the northern part to 80–100 m in the central part and decreased to 35–50 m in the southern part, where it had a pronounced floodplain. It was established that the course of the paleo-river passed from north to southeast. A comparative analysis of the morphological and morphometric features of the paleochannels of the Lower Carboniferous and the Neogene-Quaternary time showed that the depth of the Pliocene incisions of modern rivers significantly exceeds the Visean, and the paleochannels of the Quaternary are close in morphometric parameters to the Lower Carboniferous. If the Paleozoic incisions can be potential hydrocarbon traps, then the Neogene-Quaternary paleochannels usually contain deposits of sand and gravel materials, serve as a source of conditioned fresh groundwater, less often alluvial placer deposits.

Istomin A.G., Rysin I.I. Evolution of channel systems from the Lower Carbon to the Quarter (by the example of Udmurtia). *Hydrosphere. Hazard processes and phenomena*, 2023, vol. 5, iss. 2, pp. 202–215. (In Russian; abstract in English). DOI: 10.34753/HS.2023.5.2.202

части, где имела выраженную пойменную часть. Установлено, что течение палеореки проходило с севера на юго-восток. Сравнительный анализ морфолого-морфометрических особенностей палеорусел нижнего карбона и неоген-четвертичного времени показал, что глубина плиоценовых врезов современных рек существенно превышает визейские, а палеорусла квартера по морфометрическим параметрам близки к нижнекарбоновым. Если палеозойские врезы могут являться потенциальными ловушками углеводородов, то неоген-четвертичные палеорусла обычно содержат месторождения песчано-гравийных материалов, служат источником кондиционных пресных подземных вод, реже – аллювиальных россыпных месторождений.

Ключевые слова: палеорусла; визейский ярус; неоген-четвертичный этап; геофизические методы; Удмуртия.

Keywords: paleochannels; Visean stage; Neogene-Quaternary stage; geophysical methods; Udmurtia.

Введение

Равнинная территория Удмуртской Республики (УР) расчленена густой сетью рек, общая протяженность которых составляет почти 30 тыс. км. Проявляется также и зональное увеличение густоты речной сети с юга (0,35–0,45 км/км^2) на север (0,60–0,70 км/км^2). Преобладают широкопойменные реки с активным развитием процессов меандрирования [Атлас Удмуртской…, 2020; Рысин, Петухова, 2006]. Территория Удмуртии расположена в пределах двух крупных тектонических структур Волго-Камской антеклизы: Северо-Татарского свода и Верхнекамской впадины.

История геологического развития территории УР условно делится на три крупных цикла, характеризующихся различной интенсивностью тектонической перестройки, условиями образования осадков, глубиной залегания пластов и протяженностью во времени: 1) раннедокембрийский; 2) позднедокембрийский и 3) палеозойско-кайнозойский. Стратиграфия и литология региона к настоящему времени достаточно хорошо изучены [Геология и нефтеносность…, 1976].

Проблема формирования погребенных долин как на равнинных, так и в горных областях всегда имела большой интерес геологов и геоморфологов в связи с поисками и разведкой россыпных и других месторождений. Уже в первых крупных обобщениях по геологии россыпей большое внимание уделялось процессу формирования долин в разные динамические фазы [Билибин, 1956]. Это направление получило развитие в работах Н.А. Шило [2000], Ю.И. Гольдфарба [2009] и других исследователей. Позднее Г.А. Постоленко [2013] впервые рассмотрены закономерности формирования погребенных долин на протяжении крупных временных периодов – климатохронов, обусловившие основные черты морфологического сходства долин.

Однако исследования погребенных долин в основном имели обобщающий характер и касались пространственного и гипсометрического соотношения разновозрастных врезов, связи процесса формирования долин с климатическими ритмами. Детальные исследования морфологии погребенных врезов и строения приуроченных к ним россыпей в зависимости от локальных литолого-тектонических условий, влияния

морфодинамических типов русел и палеопритоков на различных участках долин к настоящему времени изучены недостаточно [Виноградова, 2020]. Об удовлетворительной изученности погребенных долин указывал в свое время и С.А. Сладкопевцев [1974]. В работе автора показана недостаточность сведений, касающихся механизма образования долин как форм рельефа и закономерностей накопления выполняющих их осадков. Не выяснены многие аспекты взаимодействия эндогенных и экзогенных факторов в процессе разработки и захоронения долин.

Палеореки докембрия, условно называемые эореками, палеореки палеозоя или протореки, значительно отличаются как от палеорек мезозоя и кайнозоя (без антропогена) или собственно палеорек, так и от антропогеновых палеорек или прарек. Вместе с тем палеореки всех геологических периодов характеризуются некоторыми общими чертами, определяемыми общими гидрологическими особенностями речных вод, которые отражаются в специфике аллювия, как особого генетического типа осадочных пород [Горецкий, 1974; Сидорчук, 2004]. Поэтому основной целью данной статьи является сопоставление морфолого-морфометрических особенностей палеорек нижнего карбона с неоген-четвертичными руслами, что позволит в будущем проследить эволюцию русловых образований за продолжительный геологический этап развития.

Первые русловые системы в палеозойском осадочном чехле были выявлены в начале 80-х годов XX века на юго-востоке Удмуртии: в процессе эксплуатационного разбуривания месторождений Арланской группы в ряде скважин отметили существенное расхождение ожидаемой и фактической глубины целевого карбонатного горизонта турнейского яруса нижнекаменноугольной системы. Одновременно с этим, при каротажных исследованиях в разрезе скважин фиксировалось значительное увеличение толщины покрывающих терригенных отложений визейского яруса нижнего карбона. Далее, в процессе накопления информации и построении карт распространения аномальных зон было установлено, что данные объекты, как правило, имеют линейные формы, напоминающие русла рек. Также было установлено, что врезы влияют на форму и на размеры залежей углеводородного сырья (УВС) как в карбонатах толщи, подвергшейся эрозии (разделение единых палеоподнятий на отдельные купола, разрушение покрывающих пластов-флюидоупоров и расформирование залежей), так и в покрывающей терригенной толще [Шпилевая, Трофимов и др., 2001].

Наилучшая сохранность в осадочном разрезе нижнего карбона и кайнозоя наблюдается у эрозионных врезов, как правило, сформировавшихся в результате деятельности русловых потоков и представляющих погребенные речные долины, реже – сформировавшиеся в результате карстовых процессов подстилающих карбонатов, последующего обрушения и заполнения полостей терригенными осадками. Широкое распространение в Удмуртии, прилегающих областях Татарстана, Башкортостана и Пермского края имеют визейские (возрастом 347–331 млн лет) и верейские врезы (около 315 млн лет), а к наиболее древним относятся вендские врезы (600–555 млн лет), обнаруженные при проведении геофизических исследований в Шарканском и Дебесском районах УР.

Методы исследования

С развитием технологий геофизических исследований, в первую очередь наземной сейсмической разведки [Куликов, Абросимова и др., 2015; Владов, Старовойтов, 2004; Santos-Assunsao S., Perez-Gracia V., et al, 2016], выделение эрозионных объектов в интервале нижнего карбона стало возможным и на малоизученных бурением территориях. В процессе исследований было установлено, что древние палеорусла распространены в пределах крупных палеоструктур верхнедевонско-турнейского палеошельфа: карбонатных палеоплато, рифогенных массивов и барьерных рифов; выделяются на границе смены типа осадков (турнейского карбонатного и визейского терригенного), а возраст врезов относится к предвизейскому и визейскому. Дальнейшее совершенствование как геофизических методик (переход от двумерных (2D) к трехмерным (3D) наблюдениям, увеличение плотности

наблюдений, повышение чувствительности приборов), так и программного обеспечения для интерпретации геофизических материалов, позволило выделять в разрезе не только крупные эрозионные объекты (врезы), но и более мелкие формы, отождествляемые с палеоканалами, сечение которых в поперечнике составляет единицы метров. Наличие таких объектов в разрезе, при благоприятном структурном факторе контролирующих залежи УВС (т.н. «шнурковые» залежи), определило необходимость проведения дополнительных геологоразведочных работ, направленных на прогноз и выявление нефтеловушек литологического и структурно-литологического типов, приуроченных к терригенному комплексу нижнего карбона [Истомина, Яруллин, 2021; Истомина, Истомин, 2018; Ермолова, Мушин и др., 2019; Савельев, 2003].

В настоящей статье приводится пример выделения визейского вреза, закартированного при проведении сейсморазведочных работ на территории Игринского, Якшур-Бодьинского и Шарканского районов УР. Исследуемый русловый объект был выявлен при интерпретации геофизических материалов (наземной сейсморазведки в комплексе с данными бурения).

В период с 1999 по 2017 гг. на данной территории проводились сейсмические исследования методом общей глубинной точки (МОГТ-2D и МОГТ-3D), суммарная площадь исследований составила более 1,8 тыс. км^2. Назначением работ являлось уточнение геологического строения с целью определения границ перспективных поднятий, контролируемых залежи УВС в продуктивных пластах среднекаменноугольной и нижнекаменноугольной систем.

В процессе интерпретации, на отдельных участках съемок МОГТ-2D выделялись фрагменты эрозионного объекта, отождествляемого с визейским врезом в подстилающую карбонатную толщу турнейско-верхнефаменского возраста. При интерпретации трехмерных массивов данных, полученных в результате реализации съемок МОГТ-3D, за счет разницы в акустических свойствах терригенных пород, составляющих тело палеорусла, и вмещающих карбонатных пород подстилающей толщи, эрозионный объект выделялся более однозначно на палеогеоизохронных сечениях (субгоризонтальных сечениях, равноудаленных относительно границ кровли и подошвы терригенной толщи визейского яруса).

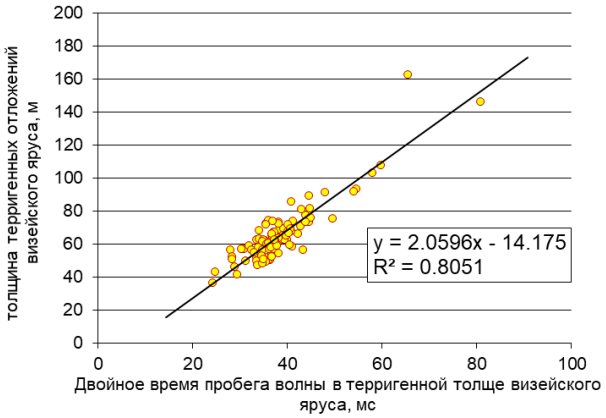

Рисунок 1. Взаимосвязь зарегистрированного времени пробега сейсмической волны в терригенной толще визейского яруса и соответствующей мощности по данным бурения на Чутырско-Киенгопской площади.

Figure 1. Relationship between the recorded travel time of a seismic wave in the terrigenous strata of the Visean stage and the corresponding thickness according to drilling data in the Chutyrsko-Kiengopskaya area.

В процессе подготовки материалов к представленной статье были выполнены работы по увязке и обобщению информации, полученной в разные годы с использованием различных модификаций сейсморазведки. Выделяемые в области времен на сейсмических разрезах границы от кровли и подошвы терригенной толщи визейского яруса контролировались на предмет наличия технических ошибок наложением корреляции на загруженные сейсмические разрезы, далее проводилась коррекция при необходимости, увязка и «сшивка» массива данных в единую площадь всех участков работ разных лет. В результате была получена обобщенная карта интервальных времен, отождествляющая физические характеристики терригенной толщи визейского яруса. Затем устанавливалась взаимосвязь времени пробега волны от кровли до подошвы терригенной толщи (по данным сейсморазведки) и соответствующей толщины терригенных отложений по данным бурения в точках скважин, вскрывших изучаемый интервал разреза (рисунок 1).

Полученное уравнение регрессионной зависимости использовалось для пересчета всей карты интервальных времен в соответствующую карту интервальных мощностей терригенной толщи нижнего карбона, которая на завершающем этапе была увязана с фактическими данными бурения.

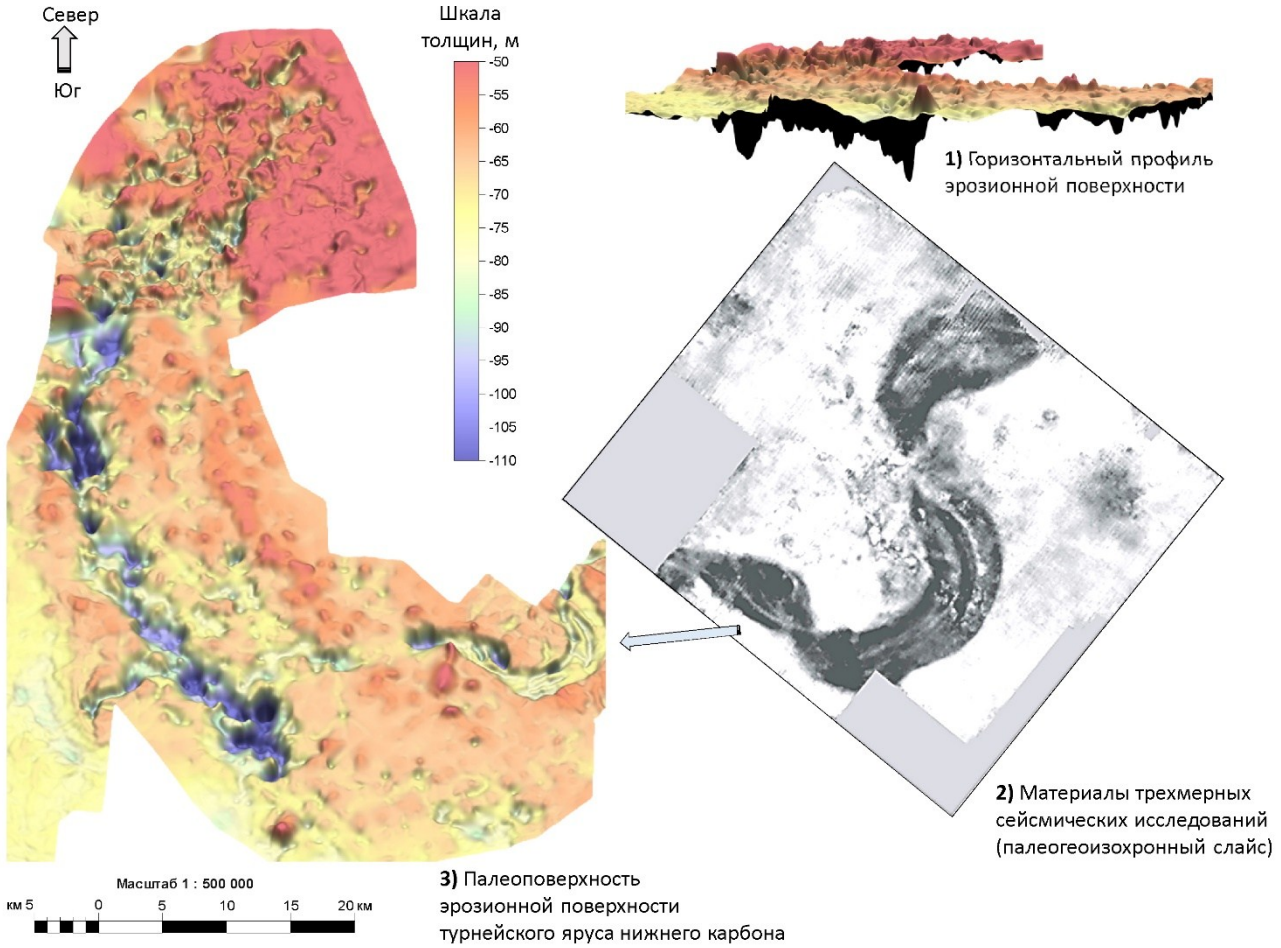

Рисунок 2. Чутырско-Киенгопская площадь сейсморазведочных работ. Палеореконструкция эрозионной поверхности турнейского яруса:
1 – эрозионная поверхность турнейского яруса, профильная плоскость; 2 – геофизические данные (материалы сейсмических исследований); 3 – эрозионная поверхность турнейского яруса, палеореконструкция на момент эрозионных процессов и накопления осадков.

Figure 2. Chutyrsko-Kiengopskaya seismic area. Paleoreconstruction of the erosional surface of the Tournaisian stage:
1 – erosional surface of the Tournaisian stage, profile plane; 2 – geophysical data (materials of seismic surveys); 3 – erosional surface of the Tournaisian stage, paleoreconstruction at the time of erosion processes and accumulation of sediments.

Результаты и их обсуждение

Учитывая тот факт, что формирование терригенной толщи визейского яруса проходило в схожих условиях на протяжении всего времени осадконакопления (с максимальным накоплением в погруженных и эрозионных участках подстилающей поверхности карбонатов), полученную карту можно также рассматривать как палеореконструкцию эрозионной поверхности карбонатов турнейского яруса на начало визейского периода. В результате было выделено палеорусло, имеющее линейную форму, протяженностью более 60 км и шириной от 1,5 км на севере до 2,5–4 км в центральной и южной части площади исследования (рисунок 2). Глубина речной палеодолины определялась на поперечных сечениях как разница отметок между осью вреза и бровкой коренного палеосклона – она возрастала от 60 м в северной части до

80–100 м в центральной и сокращалась до 35–50 м в южной части, где имела выраженную пойменную часть с узким и наиболее глубоким участком палеорусла (рисунок 3) [Истомин, Пуртова и др., 2003; Ощепкова, Истомин и др., 2012].

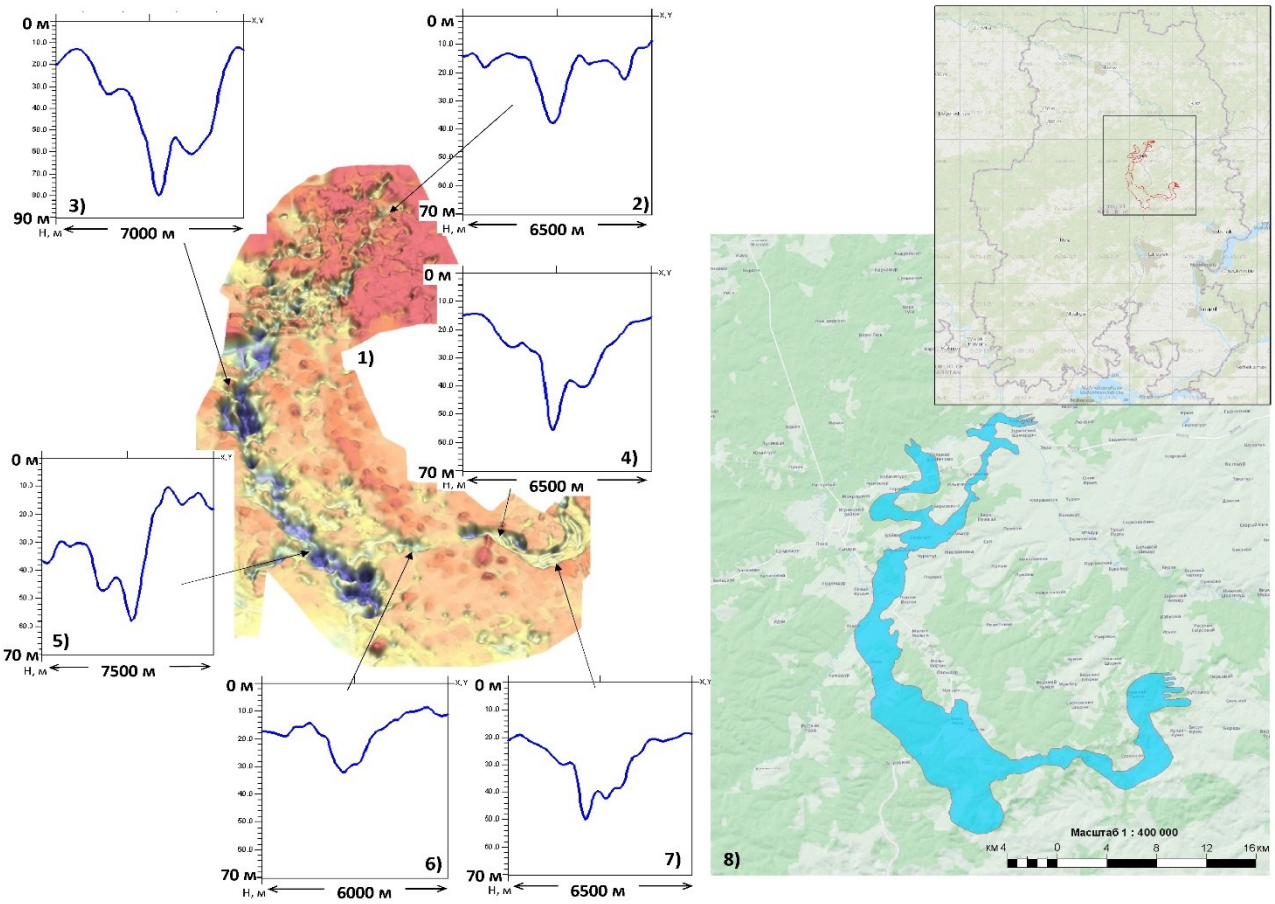

Рисунок 3. Поперечные профили рельефа дна речной палеодолины на различных участках: 1 – эрозионная поверхность турнейского яруса, палеореконструкция на момент эрозионных процессов и накопления осадков; 2–7 – поперечные срезы палеоповерхности турнейского яруса; 8 - проекция древнего визейского палеорусла на современный топографический план.

Figure 3. Cross profiles of the bottom relief of the river paleovalley in different areas: 1 – erosional surface of the Tournaisian stage, paleoreconstruction at the time of erosion processes and accumulation of sediments; 2–7 – transverse sections of the paleosurface of the Tournaisian stage; 8 – projection of the ancient Visean paleochannel on the modern topographic plan.

На участках наибольшей эрозии были размыты подстилающие карбонатные отложения черепетского, малевского и упинского горизонтов турнейского яруса нижнего карбона. Это подтверждено результатами бурения: при отборе керна из скважин, вскрывших данный интервал разреза, отмечено различие песчаных отложений по площади (мелкозернистые кварцевые песчаники, слагающие отдельные пласты терригенной толщи визейского яруса и сформированные в прибрежно-морских условиях) и составу песчаника в теле русла (крупнозернистые песчаники с включением мелкой гальки и темновато-серой глины) (рисунок 4).

Кроме того, выявленные врезы на севере УР (Карсовайская, Пибаньшурская площади), в центральной части (Михайловская, Кайсегуртская площади) и на юге (Казаковская, Арланская и Ельниковская площади), также распространены в зонах палеоплато и карбонатных массивов позднедевонско-турнейского палеошельфа, где ширина врезов составляет 150–500 м, длина от нескольких до десятков километров. Амплитуда врезов, по

данным бурения, составляет 70–120 м [Савельев, 2003].

Типичный состав керна визейского яруса на примере Ельниковской площади УР представлен алевропесчаником кварцевым, он неясно слоистый, коричневый, с округлыми включениями серого и коричневато-серого цветов (пятнистая текстура), размером от 1 до 5 мм в диаметре, составляющими 35–40 % от объема образца. Алевритовая (0,05–0,1 мм) и мелкопесчаная (0,1–0,25 мм) фракции содержатся в примерно равном объеме и сложены обломками кварца с единичными зернами калиевых полевых шпатов и мельниковита (рисунок 5). Порода состоит из обломочного материала (~69 %), цемента (~6 %) и пор (~25 %). Обломочный материал угловатый, угловато-оглаженный, иногда овальный, размером 0,06–0,25 мм, редко до 0,35 мм, представлен: зернами кварца трещиноватыми, с волнистым угасанием, нередко с тонкими неполными каемками регенерации, часто с волнистыми и фестончатыми контурами, замутненными зернами пелитизированного калишпата.

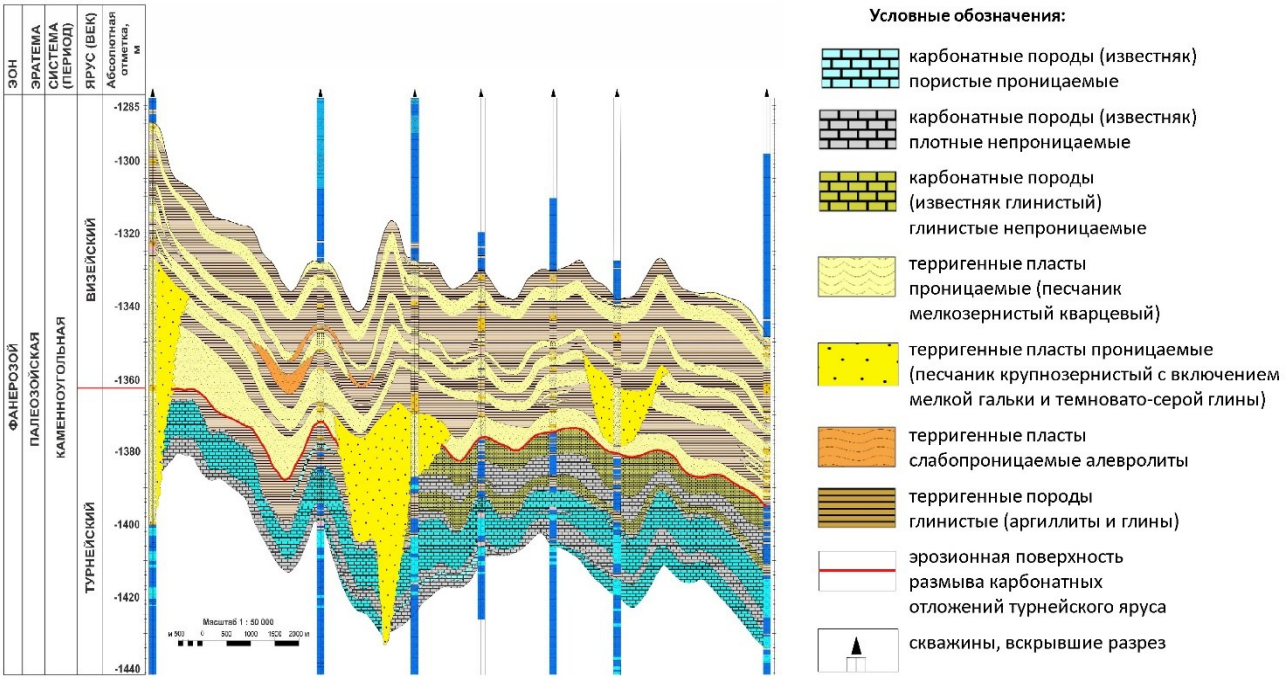

Рисунок 4. Геологический разрез нижнекаменноугольных отложений (визейский и турнейский ярус).
Figure 4. Geological section of the Lower Carboniferous deposits (Visean and Tournaisian stages).

Часто встречается алевролит слоистый. Наблюдаются серии слойков с косой, косоволнистой, линзовидной и горизонтальной слоистостью. Толщина слойков меняется от долей мм до 1 см. Слоистость нарушена ходами илоедов, что создает сочетание слоистой и пятнистой текстур. Диаметр ходов от 1 мм до 4 мм, выполнены они разнозернистым кварцевым алевритом с базально-поровым кальцитом цементом. В кернах также имеется алевролит кварцевый серый, разнозернистый (0,01–0,1 мм), линзовиднослоистый с порами. Линзовидную слоистость подчеркивают примазки (толщиной от долей мм до 0,5 мм) на границах линз черного глинисто-углистого вещества с примесью зерен кварца мелкоалевритовой размерности (0,01–0,05 мм).



Рисунок 5. Типичный керн визейского яруса, представленный алевропесчаником кварцевым темно-коричневым с сильным нефтенасыщением (на примере Ельниковской площади УР).
Figure 5. Typical core of the Visean stage, represented by dark brown silty sandstone with strong oil saturation (on the example of the Elnikovskaya field of the UR).

По результатам анализа толщины русловых отложений, а также поперечных размеров палеорусла предполагается, что течение палеореки проходило с севера на юго-восток (рисунки 2, 3) и определялось строением подстилающей толщи верхнедевонско-турнейского палеошельфа, а именно наличием погребенных Красногорского и Чутырско-Киенгопского барьерных рифов. Эндогенные процессы, предшествовавшие визейскому веку осадконакопления, привели к подъему данной территории и последующему размыву, а максимальные по интенсивности процессы протекали на наиболее выступающих поверхностях, которые располагались над погребенными барьерными рифами.

Если самые выразительные палеорусла выделяются в вендском и визейском интервалах, то позже, с конца нижнекаменноугольного периода до нижнепермского, на территории УР существовали типично морские условия осадконакопления. Стратиграфические перерывы были непродолжительными и не формировали контрастных амплитудных эрозионных объектов. Хотя палеорусла в виде небольших по ширине, но протяженных «шнурков» фиксируются геофизикой в верейское и в начале каширского времени среднекаменноугольного периода.

В неоген-четвертичный этап развития палеорусла хорошо изучены в долинах нижнего Ижа и его притоков и особенно в долине Камы благодаря классической работе Г.И. Горецкого [Горецкий, 1964]. Плиоценовый врез Ижа прослеживается от устья и примерно до широты г. Ижевска и имеет ширину от 2–2,5 км выше г. Агрыз и до 5 км в устье. Уклоны врезов днищ палеорусел в 5–6 раз превышают современные. Общая мощность плиоценовых отложений достигает 160 м. В основании разреза залегают маломощные галечники и пески русловой фации. Выше залегает мощная глинистая (реже алевриты) толща акчагыльского яруса.

Материалы по палеоруслу Нижней Камы были получены в результате изыскательских работ в 1950–1960-х годах для строительства Воткинской и Нижнекамской ГЭС. На участке между будущими плотинами, а также в низовьях Вятки и Белой через долины разбурено около 50 профилей с расстояниями между скважинами порядка сотен метров.

Согласно исследованиям [Горецкий, 1964], плиоценовая Палео-Кама текла в узкой, глубокой, каньонообразной долине. Днище ее долины близ устья Белой лежит на отметках -80 – -90 м, а в районе Самары опускается до -200 – -250 м. Ширина палеодолины составляла 700–800 м по

днищу и от 1,5 до 3,5 км по верху. Общая мощность плиоценовых отложений здесь меньше, чем в долине Ижа, и составляет всего 100–120 м, что связано с большей глубиной размыва.

Шешминский горизонт в основном слагается русловыми песками и галечниками мощностью 10–15 м. Выше эти отложения резко сменяются озерно-аллювиальными глинами и алевритами с тонкой горизонтальной слоистостью челнинского горизонта (отложения 1-й фазы акчагыльской трансгрессии, мощностью 60–70 м). Над челнинским залегают отложения сокольского горизонта (регрессивная фаза Акчагыльского бассейна), где увеличивается присутствие песков и алевритов и появляется косая слоистость. Мощность горизонта достигает 50 м. Из отложений периода максимума трансгрессии (чистопольский горизонт) в долине Камы сохранились лишь нижние слои. Эти отложения лучше сохранились в долинах его притоков, они представлены желто-бурыми известковистыми глинами. Мощность отложений чистопольского горизонта до 60 м. Разрез акчагыльского яруса завершает бикляньский горизонт (заключительная регрессивная фаза). Они имеют ограниченное распространение и представлены темными, жирными глинами, а также алевритами и песками глинистыми мощностью до 20 м.

Раннечетвертичный (венедский) врез прослеживается по всей Нижней Каме и обычно располагается под среднечетвертичным аллювием (рисунок 6). Вследствие того, что верхние слои сильно размыты, в разрезе обычно преобладают русловые пески и галечники фации размыва. Мощности выше устья Белой всего 2–3 м, ниже достигают 10–20 м. Местами в кровле появляются линзы пойменных суглинков, супесей и темных старичных глин и суглинков.

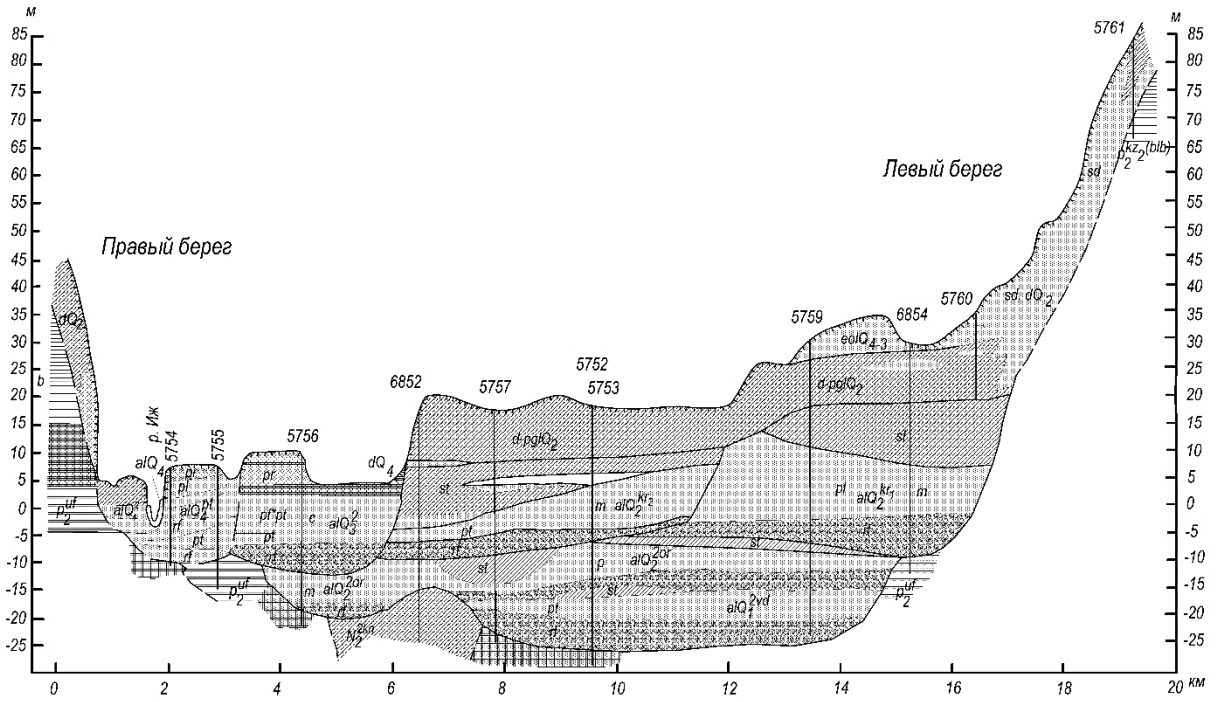

Рисунок 6. Схематический геологический профиль по Усть-Ижскому поперечнику [Горецкий, 1964].
Figure 6. Schematic geological profile along the Ust-Izhsky cross section [Goretskiy, 1964].

Среднечетвертичные отложения слагают III и IV надпойменные террасы, пользуются широким распространением, имеют сходное строение и близкие отметки. Обе террасы в нижней части слагаются гумидными аллювиальными свитами лихвинского и шкловского возрастов, названных Г.И. Горецким кривичской. Эти свиты слагаются всеми основными фациями, в их кровле залегает четко выраженный и почти повсеместно распространенный горизонт старичных глин и илов, осложненных морозобойными клиньями и

криотурбациями. Выше залегает перигляциальный аллювий, впервые выделенный Г.И. Горецким [1964] именно на материалах по Нижней Каме. Он характеризуется отсутствием деления на фации, лёссовидным супесчано-песчаным составом, тонкой горизонтальной слоистостью, псевдоморфозами по ледяным клиньям.

Верхнечетвертичные отложения слагают I и II надпойменные террасы. Вторая терраса имеет микулинско-калининский возраст с мощностью аллювия 15–20 м, сложенной всеми фациями аллювия. В верхней его части имеется небольшой по мощности горизонт перигляциального аллювия, переходящего в делювиально-солифлюкционные суглинки. Первая терраса относится к мончаловско-осташковскому времени и слагается аллювием мощностью 10–15 м, в котором также представлены все основные фации.

Днище долины Камы в пределах УР образовано поймой, которая, также, как и террасовый комплекс, развита преимущественно на левом берегу. Поверхность поймы параллельно-гривистая, в значительной степени заболоченная. По высоте над меженным горизонтом воды различаются три пойменные ступени: низкая – до 3 м, средняя – 4–5 м и высокая – 6–7 м [Ившин, Рысин и др., 2007]. Ширина левобережной поймы составляет в основном 2–3 км, максимальное значение – 3,5–4 км. Пойма Нижней Камы слагается аллювием с преобладанием галечников фации размыва и русловых песков. Мощность аллювия варьирует в пределах 12–17 м. Особенностью современного аллювия Нижней Камы является значительное распространение галечников, образующих многочисленные месторождения песчано-гравийной смеси.

Заключение

Первые русловые системы в палеозойском осадочном чехле были выявлены в начале 1980-х годов на юго-востоке Удмуртии. Было установлено, что данные объекты, преимущественно имеют линейные формы, напоминающие русла современных рек. Исследования показали, что погребенные эрозионные врезы влияют на форму и размеры залежей углеводородного сырья (нефти), что усилило интерес к их изучению. Наилучшая сохранность в осадочном разрезе наблюдается у эрозионных врезов, как правило, сформировавшихся в результате длительной эрозионной работы русловых потоков и представляющих погребенные речные долины, реже – у сформировавшихся в результате карстовых процессов. Наиболее широкое распространение в Удмуртии и соседних территориях имеют визейские (возрастом 347–331 млн лет) и верейские врезы (около 315 млн лет) нижнего карбона.

Совершенствование как геофизических методов исследования (переход от двумерных 2D к трехмерным 3D наблюдениям, увеличение плотности наблюдений, повышение чувствительности приборов), так и программного обеспечения для интерпретации геофизических материалов, позволило выделять в разрезе не только крупные эрозионные объекты (палеорусла), но и более мелкие формы, отождествляемые с палеоканалами, сечение которых в поперечнике составляет единицы метров.

В результате проведенных исследований на Чутырско-Киенгопской площади УР было выделено палеорусло, имеющее линейную форму с зачатками излучин (меандр), протяженностью более 60 км и шириной от 1,5 км на севере до 2,5–4 км в центральной и южной части изучаемой территории. Глубина речной палеодолины изменялась от 60 м в северной части до 80–100 м в центральной и сокращалась до 35–50 м в южной части, где имела выраженную пойменную часть с узким и наиболее глубоким участком палеорусла. По результатам анализа мощности и гранулометрического состава русловых отложений, а также поперечных размеров палеорусла установлено, что течение палеореки проходило с севера на юго-восток.

В неоген-четвертичный этап развития палеорусла хорошо изучены в долинах нижнего Ижа и его притоков и особенно в долине Камы благодаря классической работе Г.И. Горецкого [Горецкий, 1964], опирающегося на богатый материал изыскательских работ (в т.ч. многочисленные скважины), проведенных в

1950–1960-х годах для строительства Воткинской и Нижнекамской ГЭС.

Сравнительный анализ морфолого-морфометрических особенностей палеорусел нижнего карбона и неоген-четвертичного времени показал, что глубина плиоценовых врезов современных рек существенно превышает визейские, а палеорусла квартера по морфометрическим параметрам близки к нижнекарбоновым. Если палеозойские врезы могут являться потенциальными ловушками углеводородов, то неоген-четвертичные палеорусла часто содержат месторождения песчано-гравийных материалов, служат источником кондиционных пресных подземных вод, реже – аллювиальных россыпных месторождений.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, https://rscf.ru/project/23-27-00194

Acknowledgments

This research became possible due to Russian Science Foundation grant 23-27-00194, https://rscf.ru/project/23-27-00194

Литература

Атлас Удмуртской Республики / Под общей ред. И.И. Рысина, изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Феория; Ижевск: Удмуртия, 2020. 288 с.

Рысин И.И., Петухова Л.Н. Русловые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Ассоциация «Научная книга», 2006. 176 с.

Геология и нефтеносность Удмуртии / под ред. Л.В. Шаронова. Ижевск: Удмуртия, 1976. 127 с.

Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 463 с.

Шило Н.А. Учение о россыпях. М.: Академия горных наук, 2000. 630 с.

Гольдфарб Ю.И. Динамика формирования, классификация и возраст аллювиальных россыпей золота Северо-Востока Азии. Автореф. дис. … докт. геол. наук. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2009. 49 с.

Постоленко Г.А. Становление современных долин и его значение для геологии россыпей // Геоморфология. 2013. № 3. С. 11–23.

Виноградова О.В. Морфология погребенных долин Ленского золотоносного района и связанные с ней особенности строения аллювиальных россыпей // Геоморфология. 2020. № 2. С. 39–49.

Сладкопевцев С.А. Погребенные долины (вопросы образования и классификации) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного

References

Atlas Udmurtskoy Respubliki [Atlas of the Udmurt Republic] Russ. ed.: I.I. Rysin, 2nd. edition. M.: Publ. Feoriya; Izhevsk: Publ.Udmurtiya, 2020. 288 p. (In Russian).

Rysin I.I., Petukhova L.N. *Ruslovyye protsessy na rekakh Udmurtii [Channel processes on the rivers of Udmurtia]*. Izhevsk, Publ. Nauchnaya kniga, 2006. 176 p. (In Russian).

Geologiya i neftenosnost' Udmurtii [Geology and oil content of Udmurtia] In L.V. Sharonov (ed.). Izhevsk, Udmurtiya, 1976. 127 p. (In Russian).

Bilibin Yu.A. *Osnovy geologii rossypey [Fundamentals of placer geology]*. Moscow, Publ. of AN SSSR, 1956. 463 p. (In Russian).

Shilo N.A. *Ucheniye o rossypyakh [The doctrine of placers]*. Moscow, Publ. of Academy of Mining Sciences, 2000. 630 p. (In Russian).

Gol'dfarb Yu.I. *Dinamika formirovaniya, klassifikatsiya i vozrast allyuvial'nykh rossy- pey zolota Severo-Vostoka Azii:* avtoref. dis. kand. geogr. nauk *[Dynamics of formation, classification and age of alluvial gold deposits in Northeast Asia. Dr. geol.* sci. *diss]*. Magadan: Publ. of NEISRI DVO RAN, 2009. 49 p. (In Russian).

Postolenko G.A. Stanovleniye sovremennykh dolin i yego znacheniye dlya geologii rossypey [Formation of modern valleys and its significance for the geology of placers]. *Geomorfologiya [Geomorphology],* 2013,№ 3, pp. 11–23. (In Russian).

периода. № 41. Изд-во «Наука», М., 1974. С. 24–34.

Горецкий Г.И. Основные проблемы палеопотамологии антропогена // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. № 42. Изд-во «Наука», М., 1974. С. 3–17.

Сидорчук А.Ю. Основные результаты палеогидрологического исследования палеорусел перигляциальной зоны последнего оледенения Русской равнины // Маккавеевские чтения. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 62–70.

Шпилевая И.К., Трофимова Е.В., Фурман В.Ф., Истомин А.Г. Некоторые особенности визейских врезов в Удмуртии. Журнал «Геология нефти и газа», № 6, 2001. С. 40–43.

Куликов В.А., Амбросимова М.И., Бобачев А.А., Ермаков А.П., Модин И.Н., Паленов А.Ю., Соловьева А.В. Строение погребенной долины в урочище Борисенки (Юхновский район, Калужская область) по результатам комплексных геофизических работ // Инженерные изыскания, № 4, 2015. С. 42–55.

Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.

Santos-Assunsao S., Perez-Gracia V., Salinos V., Caselles O., Gonzales-Drigo R., Pujades L.G., Lantada N. GPR backcattering paleochannels amd infilled streams for seismic nanozonation in urban environments // IEEE Jornal of Selected Topics in Applied Earth observations and Remote Sensing. 2016. № 9(1). pp. 167–177.

Истомина Н.Г., Яруллин Т.Р. Перспективы поиска новых ловушек нефти и газа неантиклинального типа. // Сборник тезисов 11-й международной научно-практической конференции (16 апреля 2021 г.). Ижевск: 2021. С. 129–135.

Истомина Н.Г., Истомин А.Г. Выделение фаций алексинского горизонта по данным сейсморазведки на территории Удмуртии // Современные технологии извлечения нефти и газа. Перспективы развития минерально-сырьевого комплекса (российской и мировой опыт): Всероссийская научно-практическая

Vinogradova O.V. Morfologiya pogrebennykh dolin Lenskogo zolotonosnogo rayona i svyazannyye s ney osobennosti stroyeniya allyuvial'nykh rossypey [Morphology of buried valleys of the Lena gold-bearing region and associated structural features of alluvial placers]. *Geomorfologiya [Geomorphology],* 2020, № 2, pp. 39–49. (In Russian).

Sladkopevtsev S.A. Pogrebennyye doliny (voprosy obrazovaniya i klassifikatsii) [Buried Valleys (issues of education and classification)]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period]*. № 41. Moscow, Publ. Nauka, 1974, pp. 24–34. (In Russian).

Goretskiy G.I. Osnovnyye problemy paleopotamologii antropogena [The main problems of paleopotamology of the Anthropocene]. *Byulleten' komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period]*. № 42. Moscow, Publ. Nauka, 1974, pp. 3–17. (In Russian).

Sidorchuk A.Yu. Osnovnyye rezul'taty paleogidrologicheskogo issledovaniya paleorusel periglyatsial'noy zony poslednego oledeneniya Russkoy ravniny [The main results of the paleohydrological study of paleochannels of the periglacial zone of the last glaciation of the Russian Plain]. *Makkaveyevskiye chteniya [N. I. Makkaveev Readings]*, Moscow, Publ. of MSU, 2004, pp. 62–70. (In Russian).

Shpilevaya I.K., Trofimova Ye.V., Furman V.F., Istomin A.G. Nekotoryye osobennosti vizeyskikh vrezov v Udmurtii [Some features of Visean incisions in Udmurtia]. *Geologiya nefti i gaza [Geology of Oil and Gas]*, № 6, 2001, pp. 40–43. (In Russian).

Kulikov V.A., Ambrosimova M.I., Bobachev A.A., Yermakov A.P., Modin I.N., Palenov A.YU., Solov'yeva A.V. Stroyeniye pogrebennoy doliny v urochishche Borisenki (Yukhnovskiy rayon, Kaluzhskaya oblast') po rezul'tatam kompleksnykh geofizicheskikh rabot [The structure of a buried valley in the Borisenki tract (Yukhnovsky district, Kaluga region) based on the results of complex geophysical work]. *Inzhenernyye izyskaniya [Engineering survey],* № 4, 2015, pp. 42–55. (In Russian).

конференция с международным участием в честь 25-летия высшего нефтяного образования Удмуртской Республики, посвященная памяти основателя нефтяного факультета УдГУ д-ра техн. наук Кудинова Валентина Ивановича (24.05.1931-19.05.2017). Ижевск: Удмуртский университет, 2018. С. 65–72

Ермолова Т.Е., Мушин И.А., Ступак А.А., Фролов Б.К., Оксман Г.А., Холмянская Н.Ю. Перспективы поиска новых нефтегазоносных объектов в верхнетурнейско-визейских терригенных отложениях востока Волго-Уральской нефтегазоносной провинции на основе комплексных седиментологических и сейсмогеологических исследований // Геология нефти и газа, 2019. № 3. С. 67–85.

Савельев В.А. Нефтеносность и перспективы освоения ресурсов нефти Удмуртской республики. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 288 с.

Истомин А.Г., Пуртова Т.Н., Волчкова Т.Н. и др. Отчет о результатах сейсморазведочных работ МОГТ-3D на Восточно-Богдановской площади Удмуртской Республики. Удмуртский филиал ТФГИ по ПФО. Ижевск, 2003, 216 с.

Ощепкова Л.В., Истомин А.Г., Рябова Е.Н. и др. Отчет о результатах сейсморазведочных работ 2D на Чутырско-Киенгопском месторождении. Удмуртский филиал ТФГИ по ПФО. Ижевск, 2012. 260 с.

Горецкий Г.И. Аллювий великих антропогеновых прарек Русской равнины. М.: Наука, 1964. 415 с.

Ившин С.Ю., Рысин И.И., Турыкин Л.А. Горизонтальные и вертикальные деформации русла Камы на участке от Воткинского гидроузла до г.Сарапул // Вестник Удмурт. ун-та, сер. Науки о Земле, № 11, 2007. С. 83–98.

Vladov M.L., Starovoytov A.V. *Vvedeniye v georadiolokatsiyu: uchebnoye posobiye [Introduction to Ground Penetrating Radar: Study Guide]*. Moscow, Publ. of MSU, 2004, 153 p. (In Russian).

Santos-Assunsao S., Perez-Gracia V., Salinos V., Caselles O., Gonzales-Drigo R., Pujades L.G., Lantada N. GPR backcattering paleochannels amd infilled snreams for seismic nanozonation in urban environments. *IEEE Jornal of Selected Topics in Applied Earth observations and Remote Sensing.* 2016, № 9(1), pp. 167–177.

Istomina N.G., Yarullin T.R. Perspektivy poiska novykh lovushek nefti i gaza neantiklinal'nogo tipa [Prospects for searching for new oil and gas traps of non-anticlinal type]. Sbornik tezisov 11-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Collection of abstracts of the 11th international scientific and practical conference (April 16, 2021)]. Izhevsk, 2021, pp. 129–135. (In Russian).

Istomina N.G., Istomin A.G. Vydeleniye fatsiy aleksinskogo gorizonta po dannym seysmorazvedki na territorii Udmurtii [Identification of facies of the Aleksinsky horizon according to seismic data in the territory of Udmurtia]. *Sovremennyye tekhnologii izvlecheniya nefti i gaza. Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'yevogo kompleksa (rossiyskoy i mirovoy opyt) [Modern technologies for oil and gas extraction. Prospects for the development of the mineral resource complex: Russian and world experience]*, Izhevsk: Publ. of Udmurt Univ., 2018, pp. 65–72. (In Russian).

Yermolova T.Ye., Mushin I.A., Stupak A.A., Frolov B.K., Oksman G.A., Kholmyanskaya N.YU. Perspektivy poiska novykh neftegazonosnykh ob"yektov v verkhneturneysko-vizeyskikh terrigennykh otlozheniyakh vostoka Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii na osnove kompleksnykh sedimentologicheskikh i seysmogeologicheskikh issledovaniy [Prospects for searching for new oil and gas objects in the Upper Tournaisian-Visean terrigenous deposits of the east of the Volga-Ural oil and gas province based on complex sedimentological and seismic geological studies]. *Geologiya nefti i gaza [Geology of Oil and Gas]*, 2019, № 3, pp. 67–85. (In Russian).

Savel'yev V.A. Neftenosnost' i perspektivy osvoyeniya resursov nefti Udmurtskoy respubliki [Oil

content and prospects for the development of oil resources of the Udmurt Republic]. Moscow-Izhevsk, Publ. of: Inst. Comp. Res., 2003. 288 p. (In Russian).

Istomin A.G., Purtova T.N., Volchkova T.N. [et al.]. *Otchet o rezul'tatakh seysmorazvedochnykh rabot MOGT-3D na Vostochno-Bogdanovskoy ploshchadi Udmurtskoy Respubliki [Report on the results of seismic exploration work CDP-3D in the Vostochno-Bogdanovskaya area of the Udmurt Republic]*. Izhevsk, Publ. of TFGI, 2003, 216 p. (In Russian).

Oshchepkova L.V., Istomin A.G., Ryabova Ye.N. [et al.]. *Otchet o rezul'tatakh seysmorazvedochnykh rabot 2D na Chutyrsko-Kiyengopskom mestorozhdenii.[Report on the results of 2D seismic exploration at the Chutyrsko-Kiengopskoye field]*. Izhevsk, Publ. of TFGI, 2012, 260 p. (In Russian).

Goretskiy G.I. *Allyuviy velikikh antropogenovykh prarek Russkoy ravniny [Alluvium of the great anthropogenic ancestral rivers of the Russian Plain]*. Moscow, Science, 1964. 415 p. (In Russian).

Ivshin S.Yu., Rysin I.I., Turykin L.A. Gorizontal'nyye i vertikal'nyye deformatsii rusla Kamy na uchastke ot Votkinskogo gidrouzla do g. Sarapul [Horizontal and vertical deformations of the Kama riverbed in the area from the Votkinsk hydroelectric complex to the city of Sarapul]. *Vestnik Udmurt. Univ., Ser. Nauki o Zemle [Vestnik Udmurt University, Geosciences Series],* № 11, 2007. pp. 83-98. (In Russian).