ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА

УДК 551.8:551.3.051:550.8.056 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-24-31

Комплексное геолого-геофизическое исследование строения долины реки Тагил в среднем ее течении

Кузин А. В.[1]*, Коломеец И. К.[2]
[1] Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия
[2] Проектная организация «Уралдортехнологии», г. Екатеринбург, Россия
e-mail: kuzin-av@mail.ru

Реферат

Актуальность. *Комплексные геолого-геофизические исследования мостового перехода в районе пос. Махнево рассмотрены в системе геологического строения восточного склона Урала.*

Цель работы *– исследование литологического строения подрусловой части долины, определение физико-механических характеристик грунтов, исследование комплекса террас речной долины.*

Результаты. *Исследованы отметки рельефа вкрест речной долины, выделены четыре основных уровня площадок речных террас, типичных для рек восточного склона Урала. Выделен неравновесный участок речного русла с каньонообразной формой долины над зоной неотектонических воздыманий. По геологическим и геофизическим данным исследован геологический разрез поймы и русловой части реки. Установлено изменение физических свойств глауконитовых песчаников и глин палеогенового возраста в современной подрусловой части речной долины. На участке строительства нового моста вблизи существующего песчано-гравийного месторождения выявлены слои песков и глауконитовых песчаников, которые могут быть введены в разработку.*

Выводы. *Долина р. Тагил в среднем ее течении имеет типичный для рек восточного склона Урала комплекс террас, палеорусло врезано в слой глауконитовых песчаников палеогенового возраста, в подрусловой части выявлено изменение физических свойств песчаников и глин, присутствие гипогенных минералов. Это признаки возможных неотектонических процессов в толще кайнозойских и четвертичных отложений.*

Ключевые слова: *речные террасы; неотектоника; физические свойства горных пород; физико-механические свойства горных пород.*

Введение. Исследуемый участок реки располагается в районе пос. Махнево, в системе геоморфологического районирования восточного склона Урала – на участке, где река вышла на отложения Сибирской континентально-морской аккумулятивной равнины [1–4]. Мощность морских и континентальных мезозойско-кайнозойских отложений за бортами эрозионного вреза реки достигает здесь 40–50 м [5, 6].

Исследование геологического строения. Анализ высотных отметок земной поверхности на профилях вкрест речной долины р. Тагил показывает наличие четырех уровней площадок речных террас.

Поверхность (площадка) верхней террасы располагается на абсолютных отметках высот около 120 м (рис. 1). Высота ее от современного уровня реки – 43 м. Отметки подошвы (цоколя) этой террасы, по исследованиям Т. И. Иванова, В. С. Шуба [5], располагаются выше уровня реки на 30–33 м. Мощность отложений террасы можно оценить в 10–13 м. Это не так много: для среднего течения рек вос-

точного склона Урала самая верхняя терраса считается эрозионной (цокольной). По данным Геологической карты (*Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41. Екатеринбург, СПб: ВСЕГЕИ, 2011. 492 с.*) и данным [2, 5], эта так называемая ***кустанайская эрозионно-аккумулятивная терраса*** формировалась в плиоцене (N_2^{2-3}), т. е. около 5,3–2,6 млн лет назад. Терраса врезана в песчано-глинистые отложения озерно-морских равнин олигоценового возраста (более 30 млн лет назад) (*Государственная геологическая карта Российской Федерации…*), [7]. Ширина речной долины по левому и правому уступам кустанайской террасы достигает 8–12 км. Однако водный поток древней реки не был именно такой ширины. Обычно в равнинных условиях река имеет извилистое русло, подмывает в излучинах свои берега и тем самым расширяет речную долину.

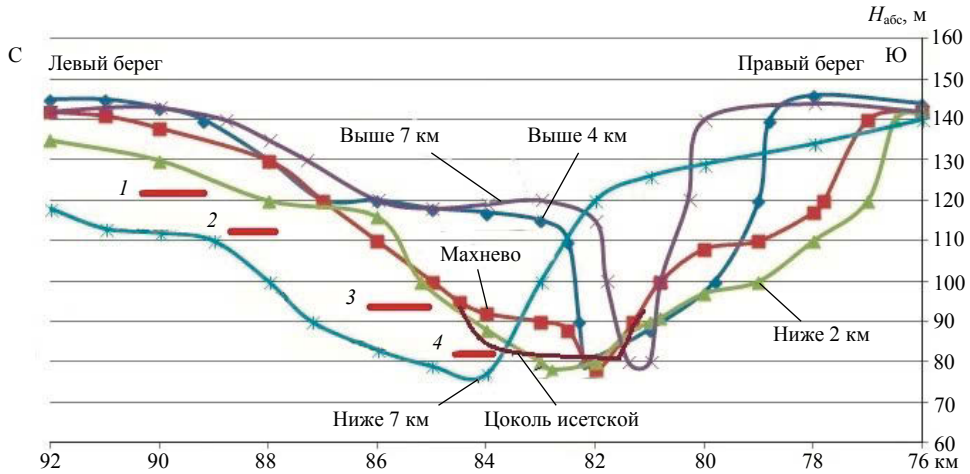

Рисунок 1. Отметки рельефа по профилям вкрест долины р. Тагил в районе пос. Махнево. Уровни поверхностей типичных для Зауралья террас:
1 – кустанайская; *2* – уфимская; *3* – исетская; *4* – камышловская
Figure 1. Relief elevations along traverses across the river Tagil valley in the Makhnevo village area. Ground levels of terraces typical of the Trans-Urals:
1 – kustanaiskaia; *2* – ufimskaia; *3* – isetskaia; *4* – kamyshlovskaia

Отметки площадок следующей, более молодой террасы р. Тагил, располагаются на абсолютной высоте около 110 м. По систематике речных террас рек восточного склона Урала – это поверхность ***уфимской террасы***. Мощность ее отложений на р. Тагил около 20 м, по данным [5]. Речная долина при формировании террасы на отрезке реки ниже современного пос. Махнево была шириной около 8 км. Выше Махнево, до р. Мугай – шириной 2–3 км. Здесь с неоплейстоцена до настоящего времени формировалась речная долина не трапециевидной, а V-образной формы. Такое явление характерно для неравновесных отрезков реки на участках неотектонических воздыманий [1, 5].

Аналогичные неравновесные участки можно выделить в 70 км южнее, на р. Нейва, в 15 км выше г. Алапаевска. И в 70 км севернее, на р. Тура, в районе пос. Восточный. Этому факту можно найти объяснение: все три неравновесных участка речных долин располагаются субмеридионально, в пределах отложений морских долин палеогенового возраста, перекрывших контакт двух региональных геологических структур: восточно-уральского поднятия, сложенного вулканогенно-осадочными породами девонского возраста, прорванными гранитными интрузиями верхнего девона и карбона, и морскими осадками карбона, наложенными на вулкано-

генные гряды девонского возраста (Алапаевско-Иргизская зона) (*Государственная геологическая карта Российской Федерации*…), [8]. Неравновесные участки располагаются в 5–10 км восточнее контакта двух крупных мегазон, над осадочными морскими породами карбонового возраста (известняки, песчаники, глинистые сланцы), которые залегают синклинально (отрицательный изгиб по А. Ю. Кисину [9]) и при тангенциальных напряжениях будут создавать блоковые горстовые структуры. На р. Тагил контакт более легких и компетентных пород карбонового возраста с породами девонской вулканогенной гряды располагается на субмеридиональном отрезке реки, где она справа принимает приток Мугай. Это установлено геологическим картированием (*Государственная геологическая карта Российской Федерации*...) и подтверждается данными гравиразведки: на западе, на левом берегу реки, над породами девонской вулканогенной гряды отмечается локальная положительная аномалия шириной 1–2 км, интенсивностью 2,5 мГал; на восточном берегу над морскими осадками каменноугольного возраста – аномалия интенсивностью минус 3 мГал. Ширина ее более 1 км. Субмеридиональное простирание этой интенсивной гравитационной ступени – 13 км.

Таким образом, анализируя положение неравновесных участков на реках восточного склона Среднего Урала и возраст формирования каньонообразных речных долин, можно детализировать время и место тектонических воздыманий Зауралья в плиоцен-четвертичное время, которые в главных чертах исследованы Л. А. Умовой, А. П. Сиговым и другими в 1940–1970-е гг. [2, 3, 8].

На участке реки вблизи восточной окраины Махнево в рельефе на уровне отметок около 92 м проявилась ***площадка второй от уровня реки террасы – исетской***. Она эрозионно-аккумулятивная, имеет мощность песчано-гравийных отложений 5–12 м. Ее осадки с 1948 г. эксплуатируются Махневским карьером Переваловского месторождения песка и гравия. Минералогический анализ отложений террасы показывает, что состав песчаной фракции кварцевый, гравелитовая составляющая представлена обломками серого среднезернистого биотитового гранита размером 4–8 мм. Зерна кварца в граните размером 2–4 мм ксеноморфны – неправильной угловатой формы, плагиоклаза – с плоскостями спайности. Доля глинистой фракции в составе отложений, по данным эксплуатации месторождения, составляет в среднем 8 %. Глина рассеяна во всей толще и локализована в пропластках мощностью до 2–3 м. Состав и распределение в толще отложений террасы песчаных, гравийных, глинистых фаций указывают на формирование ее в условиях извилистого русла, смены водных, эрозионных режимов при наличии выше по течению реки массива среднезернистых гранитов.

Из-за большой доли гравелитов (10–40 %) в составе отложений и угловатой формы обломков месторождение считается уникальным: гравелитовый наполнитель дает особо прочные бетонные смеси, использовавшиеся при строительстве на Урале атомных объектов, взлетной полосы аэропорта Кольцово.

При отработке месторождения земснарядами на глубине от поверхности 5–8 м обнаружены кости крупных млекопитающих: мамонтов, носорогов, оленей, – указывающие на среднеплейстоценовое время формирования осадков исетсткой террасы (780–126 тыс. лет назад) [8, 10].

Самые молодые камышловские надпойменные террасы располагаются на отметках 79–82 м (рис. 2). Ширина их – не более первых сотен метров. На левом берегу они не проявляются. На правом берегу можно выделить поверхности трех надпойменных террас. Наиболее молодая из них в верхней части сложена серо-желтыми пылеватыми кварцевыми песками мощностью около 1 м, которые ниже сменяются среднезернистыми серыми песками. Возраст формирования отложений камышловской террасы – верхнее звено плейстоцена (120–12 тыс. лет назад),

по данным [6, 8, 10, 11]. Пылеватые пески первой террасы указывают, что она формировалась в эпоху относительно сурового климата с периодами отрицательных температур, когда морозное растрескивание горных пород формирует в активном приповерхностном слое пылеватые лессовидные фракции.

Данные инженерно-геологических скважин и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) на проектируемом мостовом переходе в районе восточной окраины Махнево дают сведения о 3–4-метровой мощности аллювиальных песчано-галечниковых отложений под современным руслом реки (рис. 3). Эрозионный врез реки в толщу темно-зеленых глауконитовых песчаников палеогенового возраста достигал 2–3 м.

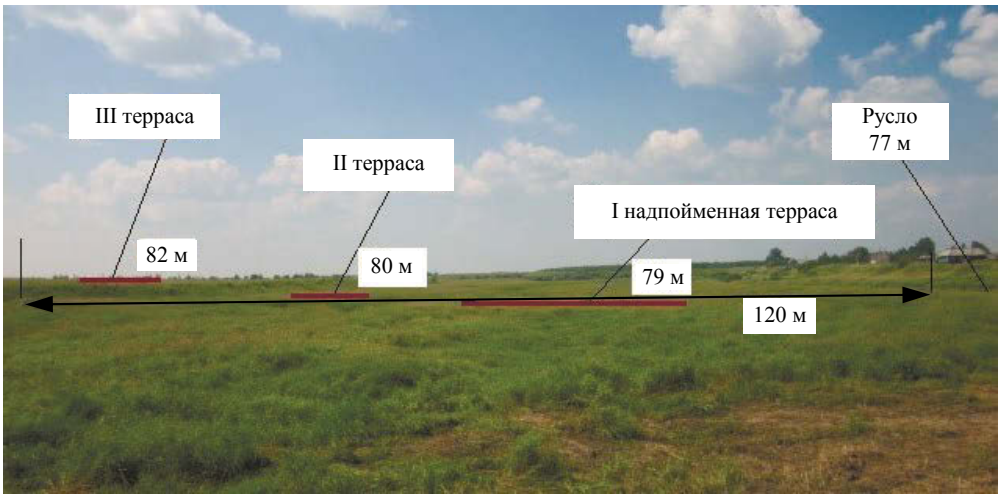

Рисунок 2. Высотные отметки уровня реки и комплекса надпойменных террас на правом берегу напротив восточной окраины пос. Махнево
Figure 2. Elevation points of the river level and the complex of above-floodplain terraces on the right bank opposite the eastern outskirts of the Makhnevo village

Глауконитовые песчаники в Зауралье – это отложения морских лагун олигоценового возраста (более 30 млн лет назад), когда для региона был характерен влажный субтропический климат [7, 12]. Обычно глауконитовые песчаники подстилают маркирующую толщу зеленовато-серых глин чеганской толщи олигоценового же возраста, но в районе восточной части Переваловского месторождения гравия и песка глауконитовые песчаники образовали пласт мощностью до 12 м над слоем глин. Цвет песчаников серовато-зеленый. Плотность образцов 1,85–2,03 г/см^3, что соответствует модальным значениям плотности песчаников кайнозойского возраста в Зауралье [13]. Прочность к одноосному сжатию песчаников невысокая (от 20,0 до 35,1 МПа). Значения удельного электрического сопротивления песчаников, по данным ВЭЗ, в современной подрусловой части долины невысокие – 14–17 Ом · м, а под террасами достигает первых сотен Ом · м.

В шлифах видно, что зерна глауконита имеют овальную и неправильную форму, размер 0,2–0,4 мм, цвет фисташково-зеленый, желтовато-зеленый, занимают в объеме породы более 50 %, придают характерный зеленый цвет песчанику. Остальная масса представлена прозрачными зернами кварца треугольной угловатой формы с размером песчинок 0,1–0,3 мм.

На правом берегу реки кровля глауконитовых песчаников залегает на глубине 3–4 м ниже уровня зеркала вод реки. Эта горная порода при измельчении может быть природным калиевым удобрением, при добавке глауконита в цемент получа-

ется быстросхватывающийся бетон. Учитывая малую водопроницаемость массивных песчаников, можно рассматривать вопрос о закладке неглубокого карьера по добыче глауконитового песчаника. При этом породы вскрыши карьера будут представлены 6–7-метровым слоем песка и гравия – ценными неметаллическими полезными ископаемыми.

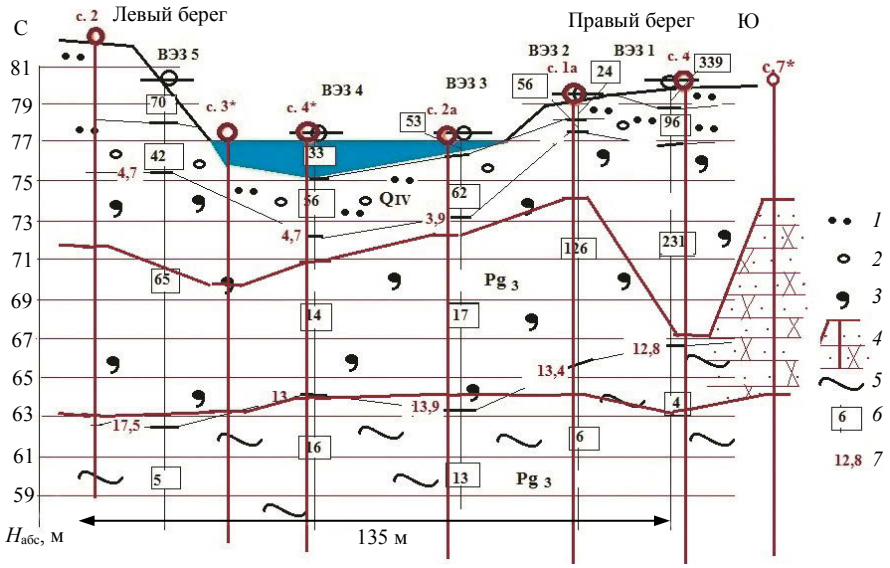

Рисунок 3. Геологический разрез русловой части речной долины:
1 – песчаные фракции аллювия; *2* – гравелитовые фации; *3* – глауконитовый песчаник олигоценового возраста; *4* – глауконитовые песчаники по данным скважин; *5* – глины чеганской свиты; *6* – значения удельного электрического сопротивления слоев по данным ВЭЗ; 7 – глубина геоэлектрических границ по ВЭЗ

Figure 3. Geological section of the streambed part of the river valley:
1 – sandy alluvium fractions; *2* – gravelite facies; *3* – glauconite sandstone of the Oligocene; *4* – glauconite sandstones based on well data; *5* – clays of the chegansky formation; *6* – values of layers specific electrical resistance based on VES data; *7* – the depth of geoelectric boundaries based on VES

Зеленовато-серые монтмориллонитовые глины чеганской свиты залегают в пойменной части долины на глубине 10–14 м от уровня воды в реке. Глины вязкие, пластичные (число пластичности изменяется от 17,2 до 29,0 %, показатель текучести – от 0 до 0,21 долей ед., модуль деформации – 12,6 МПа, удельное сцепление – 0,077 МПа, угол внутреннего трения – 15 град). Глинистые отложения содержат в своем составе 3–5 % об. слабоокатанных зерен прозрачного кварца размером 0,5–1,0 мм, пластинки биотита такого же размера. Удельное электрическое сопротивление глин 4–6 Ом · м, что характерно для толщи чеганских отложений [13, 14]. В подрусловой части сопротивление глин возрастает до 13–16 Ом · м, становится как у глауконитовых песчаников над ними.

Явления понижения электрического сопротивления песчаников и повышения его у суглинков можно объяснить наличием циркуляции грунтовых вод, насыщенных химическими элементами и минералами по субвертикальной проницаемой зоне в подрусловой части речной долины, а также возможными поступлениями глубинных флюидов по зонам неотектонических разломов [15]. В шлифах глауконитовых песчаников обнаружена слюда – минерал магматического происхождения, также наблюдается заполнение части порового пространства привнесенным кремнеземом. Такие явления, связанные с неотектоническими процессами, установлены в осадочных породах западного склона Урала [9]. Материал передан минерологам для дальнейшего изучения.

Выводы. Таким образом, при геолого-геофизическом исследовании речной долины среднего течения р. Тагил установлены следующие факты и явления:

– комплекс речных террас, характерных для рек восточного склона Среднего Урала;

– неравновесный участок V-образной речной долины над зоной неотектонического вздымания в плиоцен-четвертичное время;

– пласт глауконитовых песчаников на правом берегу современной реки на глубине, доступной для его карьерной разработки;

– признаки неотектонической проницаемой зоны в подрусловой части долины, где отмечено изменение физических свойств глин и глауконитовых песчаников, в последних минераграфическими исследованиями обнаружен привнос кремнезема в поровое межзерновое пространство.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барышников Г. Я., Платонов С. Г., Скрипко В. В. Методические рекомендации для практических занятий по общей геоморфологии. Барнаул: АГУ, 2004. 26 с.

2. Сигов А. П. Речные террасы восточного склона Среднего Урала // Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 1. М.–Л.: Госгеолиздат, 1948. С. 197–214.

3. Умова Л. А., Цаур Г. И., Шатров В. П. Палеогеография восточного склона Урала и Зауралья в меловое и палеоценовое время. Свердловск: ИГГ УрО РАН, 1968. 83 с.

4. Шакиров А. В. Физико-географическое районирование Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 618 с.

5. Иванов Т. И., Шуб В. С. Геоморфология речных долин восточного склона Среднего и Южного Урала // Материалы по геоморфологии. Вып. 2 / под ред. И. П. Герасимова. М.: Недра, 1971. С. 29–41.

6. Стефановский В. В. Аллювиальный режевской комплекс второй половины позднего неоплейстоцена рек Среднего Урала и Зауралья // Уральский геологический журнал. 2004. № 2. С. 23–46.

7. Стефановский В. В. Плиоцен и квартер Восточного склона Урала и Зауралья. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. 233 с.

8. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 296 с.

9. Кисин А. Ю., Коротеев В. А. Блоковая складчатость и рудогенез. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 349 с.

10. Кузнецов В. Ю. Радиохронология четвертичных отложений. СПб: Комильфо, 2008. 312 с.

11. Никольская М. В., Климанов В. А., Борисова О. К. и др. Палеоботанические и палеоклиматические особенности Северной Сибири и северо-востока СССР 50 000–24 000 лет назад // Палеоклиматы и оледенения в плейстоцене. М.: Наука, 1989. С. 126–136.

12. Максимович Н. Г., Меньшикова Е. А., Казакевич С. В., Шлыков В. Г. Минералогия чеганских глин и ее инженерно-геологическое значение // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П. Н. Чирвинского: матер. науч. конф. Пермь, 2000. С. 40–43.

13. Кузин А. В. Геофизические исследования Сухоложского полигона в Зауралье. Екатеринбург: УГГГА, 2004. 94 с.

14. Кузин А. В., Шайхуллина О. А. Анализ применения программ интерпретации ВЭЗ для условий крайней западной части Зауралья // Известия вузов. Геология и разведка. 2007. № 2. С. 73–76.

15. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода: в 5 томах. Т. 2: Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев [и др.]. СО РАН, 2007. 389 с.

Поступила в редакцию 2 июня 2021 года

Сведения об авторах:

Кузин Алексей Васильевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры геофизики Уральского государственного горного университета. E-mail: kuzin-av@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-4005-6567

Коломеец Игорь Константинович – инженер-геолог Проектной организации «Уралдортехнологии». E-mail: afs1886@bk.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-24-31

Integrated geological and geophysical study of the Tagil river valley morphology in its middle course

Aleksei V. Kuzin[1], Igor K. Kolomeets[2]

[1] Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

[2] Uraldortekhnologii Design Engineering Company, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Relevance. *Integrated geological and geophysical studies of a bridge in the Makhnevo village area are considered in the frame of the Urals eastern slope geology.*

Research objective *is to study the lithology of the underlying part of the valley floor, determine soil physical and mechanical characteristics, and study a complex of fluvial terraces.*

Results. *Relief elevations across the river valley have been studied, and four main fluvial terrace levels typical of the Urals eastern slope have been identified. An unstable section of the streambed with a canyon-shaped valley above the neotectonic unwarping zone has been identified. The geological section of the river's floodplain and streambed were studied based on geological and geophysical data. A change in the physical properties of glauconite sandstones and clays of Paleogene age in the recent underlying part of the river valley has been established. Layers of sand and glauconite sandstone that can be developed have been found at the new bridge site near the existing sand and gravel deposit.*

Conclusions. *A complex of terraces of the Tagil river valley in its middle course is typical for the Urals eastern slope. The paleovalley is cut into a Paleogene glauconite sandstone layer. In the underlying part of the valley floor, changes in sandstones and clays physical properties have been recorded, and the presence of hypogene minerals was revealed. These are the signs of possible neotectonic processes in the series of the Cenozoic and Quaternary deposits.*

Keywords: *fluvial terraces; neotectonics; physical properties of rocks; physical and mechanical properties of rock.*

REFERENCES

1. Baryshnikov G. Ia., Platonov S. G., Skripko V. V. *Guidelines on general geomorphology practice*. Barnaul: ASU Publishing; 2004. (In Russ.)

2. Sigov A. P. Fluvial terraces of the Middle Urals eastern slope. In: *Materials on the Urals Geomorphology*. Issue 1. Moscow-Leningrad: Gosgeolizdat Publishing; 1948. p. 197–214. (In Russ.)

3. Umova L. A., Tsaur G. I., Shatrov V. P. *Paleogeography of the Urals eastern slope and the Trans-Urals in the Cretaceous and Paleocene Epochs*. Sverdlovsk: IM UB RAS Publishing; 1968. (In Russ.)

4. Shakirov A. V. *Physical and geographical zoning of the Urals*. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 2011. (In Russ.)

5. Ivanov T. I., Shub V. S. Geomorphology of river valleys in the eastern slope of the Middle and Southern Urals. In: Gerasimov I. P. (ed.) *Materials on Geomorphology*. Issue 2. Moscow: Nedra Publishing; 1971. p. 29–41. (In Russ.)

6. Stefanovskii V. V. The alluvian Rezh complex of the second part of late Neo-Pleistocene in Middle Uralian and Transuralian rivers. *Uralskii geologicheskii zhurnal = Uralian Geological Journal*. 2004; 2: 23–46. (In Russ.)

7. Stefanovskii V. V. *The Pliocene and the Quaternary of the eastern slope of the Ural and the Transurals*. Ekaterinburg: IM UB RAS Publishing; 2006. (In Russ.)

8. Sigov A. P. *Metallogeny of the Uralian Mesozoic and Cenozoic*. Moscow: Nedra Publishing; 1969. (In Russ.)

9. Kisin A. Iu., Koroteev V. A. *Block folding and ore genesis*. Ekaterinburg: IM UB RAS Publishing; 2017. (In Russ.)

10. Kuznetsov V. Iu. *Radiochronology of the quaternary deposits*. St. Petersburg: Komilfo Publishing; 2008. (In Russ.)

11. Nikolskaia M. V., Klimanov V. A., Borisova O. K. et al. Paleobotanic and paleoclimatic features of the Northern Siberia and the north-east of the USSR 50,000–24,000 years ago. In: *Paleoclimate and graciation in the Pleistocene*. Moscow: Nauka Publishing; 1989. p. 126–136. (In Russ.)

12. Maksimovich N. G., Menshikova E. A., Kazakevich S. V., Shlykov V. G. Mineralogy of the chegansky clays and its engineering-geological significance. In: *Problems of mineralogy, petrography, and metallogeny: Proceedings of the Scientific Readings in memory of P. N. Chirvinsky*. Perm: 2000. p. 40–43. (In Russ.)

13. Kuzin A. V. *Geophysical survey of the Sukhoy Log polygon in the Trans-Urals*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2004. (In Russ.)

14. Kuzin A. V., Shaikhullina O. A. Analysis of using the VES interpretation programs for the marginal western part of Trans-Urals. *Izvestiia vuzov. Geologiia i razvedka = Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 2007; 2: 73–76. (In Russ.)

15. Shvartsev S. L. (ed.) et al. *Geological evolution and self-organization of the water-rock system: in 5 volumes. Vol. 2: The water-rock system in the conditions of the hypergenesis*. SB RAS Publishing; 2007. (In Russ.)

Received 2 June 2021

Information about authors:

Aleksei V. Kuzin – PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, associate professor of the Department of Geophysics, Ural State Mining University. E-mail: kuzin-av@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-4005-6567
Igor K. Kolomeets – geological engineer, Uraldortekhnologii Design Organization. E-mail: afs1886@bk.ru

Для цитирования: Кузин А. В., Коломеец И. К. Комплексное геолого-геофизическое исследование долины реки Тагил в среднем ее течении // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 6. С. 24–31. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-24-31
For citation: Kuzin A. V., Kolomeets I. K. Integrated geological and geophysical study of the Tagil river valley morphology in its middle course. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 6: 24–31 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-24-31