УДК 553.411.071:553.068.3 + 553.068.5 (470.5)

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ АНАТОЛИЯ ПАВЛОВИЧА СИГОВА. ЕГО ЗНАЧЕНИЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ ПРИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКЕ ПЛОЩАДЕЙ НА БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ НА УРАЛЕ

Баранников А. Г.

К 110-летию со дня рождения
Анатолия Павловича Сигова,
доктора геолого-минералогических наук,
заслуженного геолога Российской Федерации

В статье, посвященной 110-летию со дня рождения А. П. Сигова, рассмотрен ряд научных проблем, раскрывающих творческое наследие одного из наиболее известных исследователей геологии и геоморфологии Урала второй половины XX века. Обращено внимание на вопросы, актуальные и в настоящее время при оценке минерагенического потенциала территорий на благороднометалльное оруденение. В их числе: проблемы изучения разновозрастных пенепленов; своеобразие процессов россыпеобразования в условиях пенепленизации рельефа; проблема оценки золотоносности, связанной с постколлизионными рудно-метасоматическими процессами аргиллизитовой формации.

Ключевые слова: *золото; оруденение; пенеплен; мезозой; россыпи; активизация; нетрадиционный тип.*

Введение. Фундаментальные исследования недр земли последних десятилетий позволили во многих случаях пересмотреть геологические концепции, ранее казавшиеся незыблемыми. Новые идеи, касающиеся как планетарных, региональных, так и локальных проблем, нередко позволяют с новых позиций подходить к реставрации процессов геологического развития конкретных территорий, обоснованию их перспектив при оценке минерагенического потенциала. На основе выдвигаемых новых геотектонических концепций появляется возможность конструировать прогнозно-поисковые модели потенциально рудоносных площадей, что позволяет целенаправленно определять направления прогнозно-поисковых и оценочных работ на конкретные геолого-промышленные типы месторождений минерального сырья.

А. П. Сигов (1904–1998)

Огромный вклад в познание проблем геологии и экзогенной минерагении на постколлизионном этапе развития уральского региона внесли исследования Анатолия Павловича Сигова (1904–1998) – доктора геолого-минералогических наук, заслуженного геолога РФ. Многие содержащиеся в его работах (многочисленных геологических отчетах, публикациях – более 150 статей, 8 монографий) вопросы и проблемы, посвященные различным аспектам геологического строения региона – стратиграфии, литологии, геоморфологии, экзогенной минерагении – не только не устарели к настоящему времени, но и спустя несколько десятилетий после их опубликования оказались реально востребованными. В творчестве Анатолия Павловича глубокие научные разработки органично сочетались с решением конкретных геологических задач.

По результатам научно-производственной деятельности А. П. Сигова можно поставить в один ряд с наиболее известными исследователями Урала.

Основные этапы жизненного пути. Анатолий Павлович родился 7 апреля 1904 г. в городе Красноуфимске в семье сельского учителя. Учился в Екатеринбургском реальном училище. В 1922 г. поступил на геологоразведочное отделение горного факультета Уральского политехнического института, позднее вновь преобразованного в Свердловский горный институт.

Обучение в институте Анатолий Павлович совмещал с производственной деятельностью. В 1923 г. был направлен на практику в Джетыгаринский комбинат треста «Каззолото», где работал на руднике Урус-Кискан. Он продолжал трудиться и на других золоторудных объектах района. С его участием были вскрыты и оценены новые рудные тела, в том числе крутопадающие золотоносные жилы.

В мае 1933 г. Анатолий Павлович перешел на работу в Свердловский горный институт на должность ассистента кафедры «Разведочное дело», в то время руководимой профессором А. П. Смолиным. По линии научно-исследовательского сектора института проводил изучение месторождений золота и россыпей на Южном Урале (на территории трестов «Миассзолото» и «Башзолото»). При обработке собранных материалов им была организована первая в России лаборатория шлихового анализа, необходимость которой диктовалась практикой поисковых и разведочных работ на Урале. В 1937 г. в 7 номере журнала «Высшая школа» была опубликована статья «Вклад лаборатории ВУЗа в разведочное дело». Несколько позднее под грифом Свердловского горного института уже издана книга «Шлиховые изыскания» (ГОНТИ, 1939). Она представляла собой первое в России методическое руководство по шлиховому анализу и шлиховой съемке.

В 1937 г. А. П. Сигов перешел на работу в научно-исследовательский институт «Уралгеомин». Столь резкий поворот в трудовой деятельности Анатолий Павлович объяснял тем, что в конце 1937 г. в горном институте была организована кампания по «развенчанию заслуг» заведующего кафедрой А. П. Смолина. Многие из собравшихся выступали с резкой критикой профессора, и только Анатолий Павлович выступил против его «огульного охаивания» [1]. А. П. Смолина уволили и вскоре осудили, а для А. П. Сигова создали обстановку, не позволяющую сколько-нибудь продуктивно трудиться в институте.

С 1939 г. вся его трудовая деятельность связана с Уралгеолкомом (позднее – Уральским геологическим управлением). Многолетние шлиховые изыскания были обобщены в 1942 г., когда под руководством А. П. Сигова была составлена первая шлиховая карта Урала. Она явилась надежной основой для проектирования поисковых работ на золото.

Крупным научным достижением явилось составление в 1948 г. первой на Урале геоморфологической карты, а также карты четвертичных отложений. Редакторами карт были Я. С. Эдельштейн и А. П. Сигов. Впервые в регионе (да и в стране) в основу геоморфологической карты был положен историко-геологический принцип. На карте были выделены разновозрастные поверхности выравнивания, показаны фрагменты мезозойской гидросети (эрозионно-структурные депрессии). Авторы сделали важный вывод, что перспективы Урала по россыпям в пределах палеодолин достаточно велики. Это было подтверждено позднее (в 60–80-е гг. прошлого века) в полной мере практикой геологоразведочных работ.

По материалам составленных карт А. П. Сиговым в 1949 г. успешно защищена кандидатская диссертация. В период с 1942 по 1960 гг. Анатолий Павлович занимался изучением геологии и полезных ископаемых Зауралья и Тургая. В соавторстве с коллегами были разработаны и внедрены в практику геолого-съемочных работ принципы выделения и картирования палеонтологически немых толщ мезозойского и кайнозойского возраста. Материалы изучения литологии и стратиграфии позволили разработать детальные стратиграфические схемы для районов Зауралья

и всего Урала. Эти схемы для всех систем мезозоя и кайнозоя успешно используются и в настоящее время при проведении геологоразведочных работ. Результаты многолетних исследований явились материалом для докторской диссертации, защищенной в 1961 г.

Наиболее плодотворный период научно-производственной деятельности Анатолия Павловича начался в 1960 г.; он связан с комплексным геолого-геоморфологическим изучением Урала. Под его руководством были составлены пять карт: геоморфологическая (второй вариант), кор выветривания, новейшей тектоники, россыпей, комплекса шлиховых карт (второй вариант). При выполнении работ большое внимание уделялось изучению вещественного состава кор выветривания и продуктов их переотложения.

В 1968 г. издано «Методическое руководство по комплексному геолого-геоморфологическому картированию Урала». С учетом разработанных принципов коллективом геолого-геоморфологической партии УГСЭ (В. С. Шуб, Л. А. Гузовский, Л. Е. Стороженко, В. М. Якушев, А. Г. Баранников, И. З. Шуб, А. В. Ломаев, В. А. Сигов, В. И. Федоров и др.) в 60–80-е гг. прошлого века проведено детальное (в масштабе 1:100000–1:50000 и крупнее) картирование ведущих рудно-россыпных районов и узлов Урала. Выполненные исследования позволили обосновать важные как в научном, так и в практическом плане закономерности геолого-геоморфологического строения уральского региона, раскрыть особенности геологической истории в мезозое и кайнозое, изучить своеобразие процессов химического выветривания и металлогении. Убедительно показана важнейшая роль в пространственном размещении россыпей благородных металлов мезозойских эрозионно-структурных депрессий (рис. 1). Доказана определяющая роль в формировании экзогенных полезных ископаемых химических кор выветривания.

Выполненные исследования позволили существенно скорректировать направления поисковых и разведочных работ на Урале, кардинально переоценить, а местами воссоздать минерально-сырьевую базу золотодобывающей промышленности уральского региона.

Излагаемые ниже сведения в основном заимствованы из обобщающих работ Анатолия Павловича [2, 3, 4, 5]. Монографии, подготовленные в последние годы его жизни, изданы ограниченным тиражом в местных издательствах; они малодоступны широкому кругу читателей. Настоящая статья ставит своей задачей восполнить в какой-то мере этот пробел.

Проблемы изучения древних (мезозойских) пенепленов. *Пенеплены* (по В. М. Девису [6], «старые горы – почти равнина») – это одна из достопримечательностей уральского подвижного пояса. Использование термина возможно лишь для территорий со складчатым основанием, но не для областей с горизонтально залегающими слоями. Возникшее учение о пенепленах на протяжении всей последующей истории находилось в центре внимания теоретической геоморфологии и было широко воспринято мировой геологической общественностью, что и нашло отражение в работах многих геологов и геоморфологов, как зарубежных (В. Пенк, 1924; Д. Джексон, 1916; Л. Кинг, 1953, 1967; И. Трикар, 1953; В. Кеннеди, 1962 и др.), так и отечественных (А. П. Карпинский, 1915; Н. М. Крашенинников, 1915; А. В. Хабаков, 1934; Д. А. Тимофеев, 1979; А. Д. Наумов, 1981; А. П. Сигов, 1968, 1987 и др.).

Пенеплены рассматриваются как особая историко-генетическая категория рельефа, возникшая в процессе эволюции складчатых областей при их переходе в молодые платформы и имеющая при этом характерную экзогенную минерагению. Пенеплены отражают теоретически конечную стадию развития морфоструктур горных стран в условиях относительного тектонического покоя. Еще при жизни В. М. Девиса пенеплены, выделенные на различных материках, стали рассматриваться как реперы, по которым определялись вертикальные движения отдельных блоков земной коры.

В наиболее типичном виде зона пенеплена представлена на восточном склоне Южного,

отчасти Среднего Урала. В составе пенеплена здесь выделены геоморфологические районы: Зауральский пенеплен, Приподнятый зауральский пенеплен, Откопанный зауральский пенеплен и располагающаяся восточнее Континентально-морская цокольная равнина

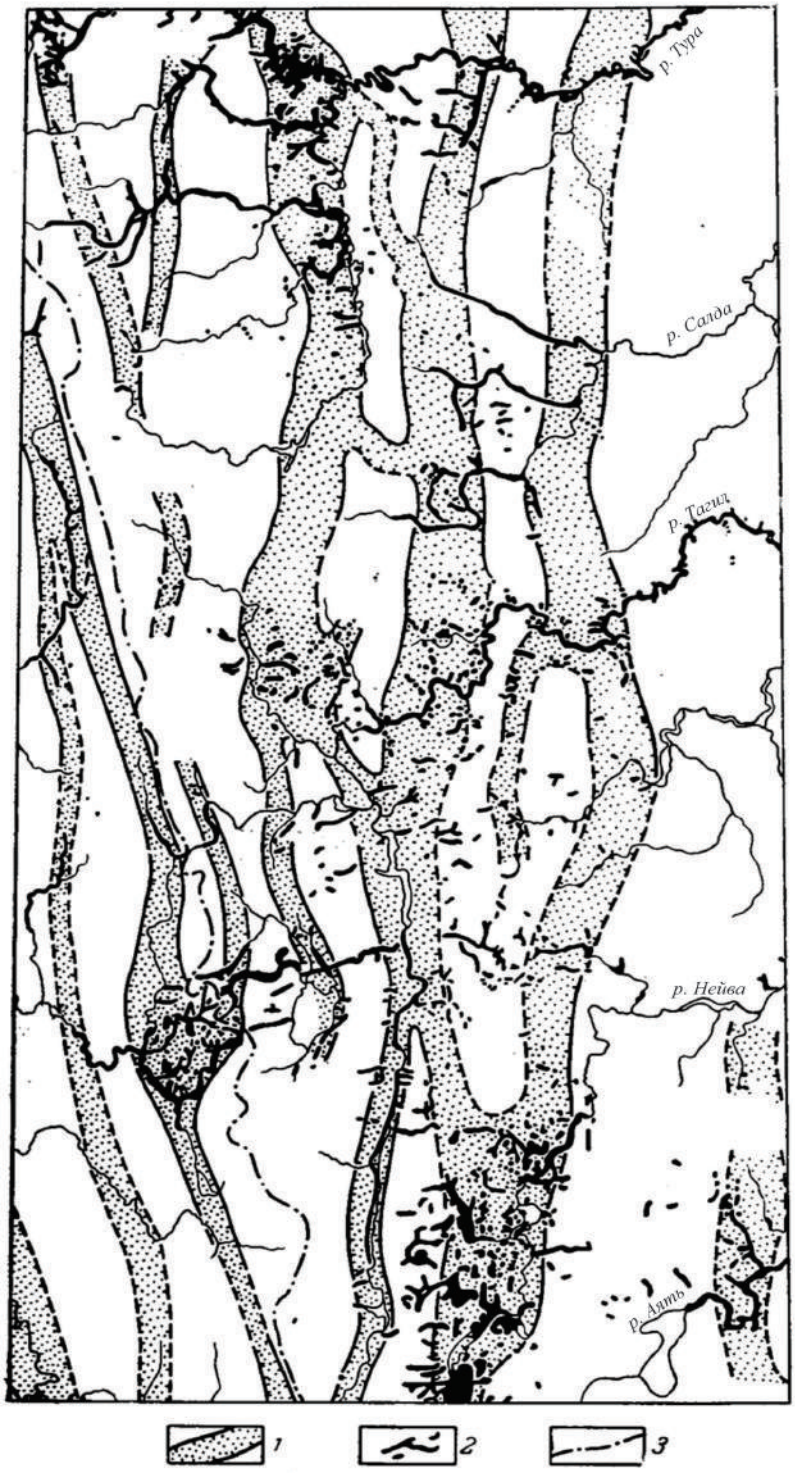

Рис. 1. Схема размещения россыпей золота и платины на Среднем Урале (по А. П. Сигову и др., 1967):
1 – мезозойские эрозионно-структурные депрессии; *2* – известные россыпи золота и платины; *3* – современный водораздел

Зауралья (рис. 2).

Зауральский пенеплен имеет ряд генетических аналогов в стране и за рубежом. Отмечается [7], что пенеплены формиро-

вались как в условиях герцинских срединных массивов (Армориканский, Арденский, Центральный Французский, Чешский массивы, Салаир), так и сложно устроенных складчатых областей (Томь-Колыванская горная страна, Таймыр, Южные Аппалачи, отдельные районы Австралии, Китая, Западной Африки и т. д.). Наиболее близок к южноуральскому мезозойский пенеплен южных Аппалачей. В. Е. Хайн (1971), ссылаясь на американских авторов, отмечает, что еще в раннем триасе Аппалачи представляли горное сооружение. В период с юры по палеоген в условиях относительного тектонического покоя здесь протекали масштабные процессы корообразования и пенепленизации. Коры выветривания представлены латеритным и каолиновым профилями. С продуктами их переотложения связаны месторождения бокситов, каолинов, россыпей титан-циркониевых минералов и других полезных ископаемых.

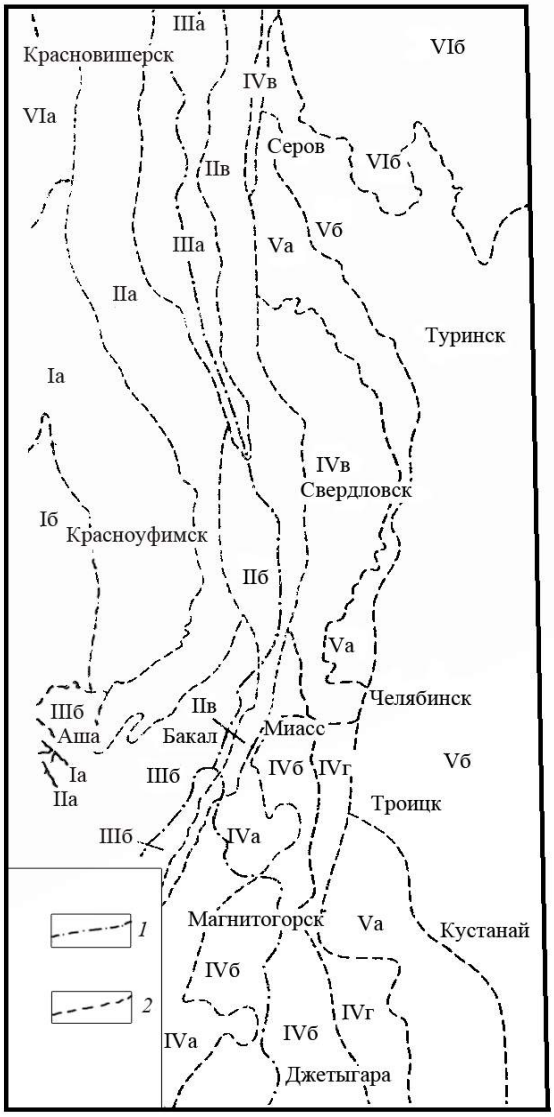

Рис. 2. Схема геоморфологического районирования Урала (по А. П. Сигову и В. С. Шубу):

1 – главные водоразделы; *2* – границы геоморфологических районов. Русская равнина: Iа – денудационная равнина Предуралья; Iб – приподнятая денудационная равнина Уфимского плата; Урал, зона кряжа: IIа – остаточные горы западного склона Урала; IIб – остаточные горы осевой части Среднего Урала; IIв – остаточные горы восточного склона Урала; IIIа – приподнятые горные массивы Северного и Среднего Урала; IIIб - приподнятые горные массивы Южного Урала; Урал, зона пенеплена: IVа – западная омоложенная зона – приподнятый Зауральский пенеплен; IVб – Зауральский пенеплен; IVв – северная омоложенная зона откопанного пенеплена; IVг – южная стабильная зона откопанного пенеплена; Западно-Сибирская низменность: Va – континентально-морская цокольная равнина; Vб – континентально-морская аккумулятивная равнина; Область былого оледенения: VIа – водно-ледниковая равнина Северного Предуралья; VIб – ледниковая и водно-ледниковая равнина Северного Зауралья

Рассматривая историю формирования уральского пенеплена, А. П. Сигов обосновывает тесную взаимосвязь процессов пенепленизации и корообразования [2, 4]. Надежная фиксация пенеплена в полевых условиях возможна на местности: «если сохранился почвенный слой (кора выветривания), то сохранилась и синхронная ему поверхность выравнивания (поверхность пенеплена)» [4]. Выявленные фрагменты древних пенепленов обычно покрыты корой выветривания того или иного состава. Коры могут сохраняться в первичном виде или быть в какой-то степени измененными (преобразованными).

В мезозое на Урале неоднократно происходило обновление эрозионных циклов, приводившее к формированию разновозрастных поверхностей выравнивания и, в том числе, пенепленов. Поверхности пенепленов установлены для следующих этапов геологического развития региона [4]:

а) в раннем мезозое:

– в конце среднего – позднем триасе;

– в предъюрское или раннеюрское время.

б) в позднем мезозое:

– в готтерив-барреме;

– в начале верхнего мела.

Разновозрастным поверхностям выравнивания, фиксирующим в рельефе палеоповерхности пенепленов, свойственен определенный *геохимический тип коры выветривания.*

Познание химизма протекавших в коре выветривания экзогенных изменений является тем ключом, который позволяет производить (наряду с другими признаками) возрастную датировку разновозрастных поверхностей мезозойского пенеплена.

На характер образующего профиля оказывала влияние совокупность факторов: рельеф местности; климатические особенности, раскрываемые через поверхностный и подземный водообмен; характер циркуляции грунтовых вод; биохимические процессы; состав, строение, физико-механические свойства пород субстрата и т. д.

На Урале установлен ряд геохимических типов кор выветривания [4, 8]: красноземные, силифицированные, ферриаллитные (латеритные), ферритно-сиалитные, сиалитные, сернокислотные и др. Однако определяющую роль в формировании пенепленов имело химическое выветривание двух типов – латеритного и сиалитного (каолинового).

Ферриаллитные (латеритные) коры изучены на Урале крайне слабо; характеризуются наличием зоны обогащения полуторными оксидами железа и алюминия, сложенной гетит-гидрогематитовыми породами с гидроксидами свободного глинозема. Большинство исследователей считают, что латериты образуются в зоне тропиков, в области саванн, где среднегодовые температуры составляют +20 ^{o}C и более; при этом характерен режим переменного увлажнения. Одну из эталонных площадей составляют железосодержащие латеритные коры выветривания Бразилии [9]. Эти литифицированные Fe-(Al)-O-OH комплексы сформировались в тропическом полуаридном климате не только в Бразилии, но и на других территориях мира (30° северной и 30° южной широт). В определенных геологических условиях латеритные коры обогащены благородными металлами и даже самородками золота. Вместе с гетитовыми образованиями присутствуют агрегаты коллоидного золота.

Реликты *триасового пенеплена,* зафиксированного корой выветривания ферриаллитного профиля, в уральском регионе имеют ограниченное распространение. Они сохранились на Южном Урале в пределах Таналык-Баймакской депрессии, на Залаирском плато, в днище ряда рифтогенных структур (грабенов) на Северном Урале (Волчанской, Богословско-Веселовской и других тектонических депрессий) [10]. Анализируя локальное размещение в регионе фрагментов триасового пенеплена, А. П. Сигов отмечает, что масштабное выравнивание рельефа могло быть реализовано лишь в пределах *тектонически стабилизированных блоков земной коры,* отшнурованных разломами от более тектонически мобильных областей. Подчеркивается, что эти относительно кратковременные геологические процессы пенепленизации проявили себя в регионе не одновременно и в разных местах. Во многих случаях в основании разреза толщи, выполняющей тектонические впадины (Богословскую, Веселовскую, Мостовскую, Буланаш-Елкинскую и др.), залегает пестроцветный горизонт, представленный преимущественно грубообломочными разностями пород (темно-зеленых, вишнево-красных, желтых и других тонов). Для него характерно отсутствие слоистости и сортировки материала, наблюдаются бобовые бокситовидные глины, отмечены маломощные тела бокситов. Эти данные свидетельствуют о наличии коры выветривания латеритного типа в период континентального развития региона, предшествовавшего заложению тектонических депрессий. Грубообломочный состав отложений нижней свиты указывает на расчлененный характер рельефа при возникновении депрессий, что могло быть связано с интенсивной блоковой тектоникой. Выравнивание рельефа произошло быстро, о чем свидетельствует мелкозернистый характер вышележащих отложений (аргиллиты, алевролиты, песчаники с пластами угля, горизонтами конгломератов), выполнявших впадины в обстановке медленного погружения днищ депрессий и в уже иных климатических условиях (умеренно влажного климата).

Физико-химическая модель развития латеритного процесса рассмотрена в многочисленных публикациях и, в том числе, в работе В. А. Копейкина [11]. Отмечено, что важней-

шим аспектом являлся переменный характер климата, вызывавший неоднократную смену окислительно-восстановительных условий в профиле коры при подъеме и опускании грунтовых вод. Вниз по профилю обычно происходило возрастание pH и снижение значений Eh среды. Частые их смены благоприятны для химического разложения пород. Если возрастание Eh приводит к окислению закисных элементов, то понижение – к восстановлению оксидов. Это вызывает изменение радиуса иона кристаллической решетки, тем самым приводя к ее разрушению. Смена Eh рассматривается, по выражению В. А. Копейкина, как «химическая дробилка» пород субстрата. При этом минералы «взрываются изнутри» вследствие изменений в кристаллической решетке. Этим достигаются наиболее глубокие химические преобразования состава пород.

С корами выветривания латеритного профиля может быть связана золотоносность. Месторождения подобного типа известны во многих странах мира (Австралии, Бразилии, Индии, государствах Африки, юго-запада Азии и т. д.) [12]. Возможно, что модель накопления золота в корах латеритного (ферриаллитного) профиля проявилась на Урале при формировании триасового пенеплена. Однако позднее при «разработке» юрского и мелового пенепленов горизонты латеритного покрова оказались большей частью уничтоженными, а сконцентрированное в них золото испытало переотложение (в том числе, участвуя в образовании россыпей).

На формирование *нижнеюрского пенеплена* также определяющее влияние оказали два фактора – тектонический и климатический. Как отмечает А. П. Сигов, неоднородность тектонического строения Урала, а также изменение климата отразились на пространственном и гипсометрическом положении поверхностей выравнивания и, в том числе, площадей возникшего юрского пенеплена. Определяющее значение при этом приобрела не только меридиональная, но и широтная тектоническая зональность.

На основе обобщения региональных геолого-геоморфологических материалов и карт геофизических полей обращено внимание на секущее положение по отношению к структурному плану складчатого субстрата вновь возникших субширотных морфоструктур. Значимость этих «трансорогенных» линеаментов проявилась в том, что они во многом разграничивают ареалы распространения мезозойского пенеплена. Выделены три тектонические зоны: Туринская, Каратауско-Челябинская и Зилаирско-Магнитогорская (рис. 3). В их пределах установлены горизонтальные смещения отдельных сегментов горных пород. Помимо этого, региональные линеаменты зафиксированы субширотными структурами фундамента, флексурными изгибами пород, аномалиями силы тяжести и магнитного поля, сквозными речными долинами и т. д.

Крупный блок земной коры с фрагментами юрского пенеплена расположен севернее Туринской зоны разломов. Вероятно, тот же возраст имеют фрагменты пенеплена, развитые на западном склоне Среднего Урала между Туринской и Каратауско-Челябинской зонами. Возможно, что того же возраста пенеплен был сформирован к югу от Залаирско-Магнитогорской зоны разломов, располагаясь восточнее триасового пенеплена.

В работе Анатолия Павловича подчеркнуто, что, помимо трех обозначенных субширотных тектонических зон, на Урале безусловно присутствуют региональные и локальные зоны (линеаменты) иной пространственной ориентировки (косоширотной, диагональной и т. д.), позиция которых заслуживает более точного обоснования и детального изучения. Это было подтверждено позднее практикой прогнозно-поисковых работ на основе массового использования дистанционных методов исследования.

Юрский пенеплен формировался в пределах относительно тектонически стабилизированных крупных блоков земной коры и в уже иных климатических условиях (в тропическом или субтропическом влажном климате). Возникшие при этом сиалитные коры имеют каолиновый, гидрослюдисто-каолиновый, галлуазитовый и иной тип профиля.

Произошло эффективное выравнивание рельефа и масштабное вовлечение в сферу денудационного снижения значительного объема выветрелых горных пород, а также коренных источников россыпеобразующих минералов. С рыхлыми отложениями аллювиального,

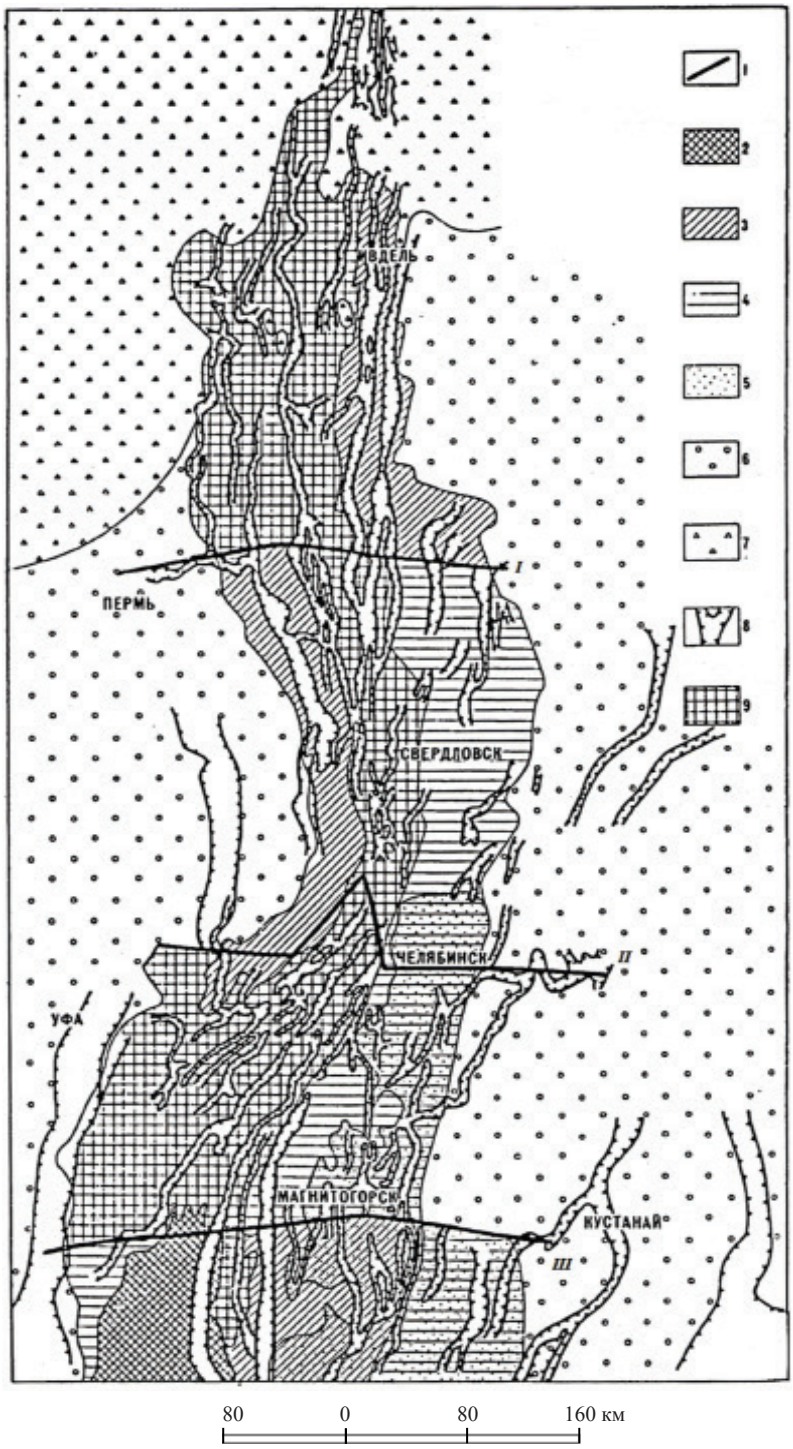

Рис. 3. Схема локализации разновозрастных элементов рельефа Урала (по А. П. Сигову, 1997):

1 – субширотные тектонические разломы, определившие размещение разновозрастных элементов: *I* – Туринская зона, *II* – Каратауско-Челябинская зона, *III* – Зилаирско-Магнитогорская зона; 2–4 – районы развития фрагментов пенеплена: 2 – триасового, 3 – юрского, 4 – мелового; 5 – район слабой новейшей тектоники, где не образовались плиоцен-четвертичные россыпи; 6 – области Предуралья и Зауралья, не перспективные по россыпям золота и платины; 7 – район плейстоценового оледенения с развитием ледниковых образований; 8 – мезозойские эрозионно-структурные депрессии; 9 – горная часть Урала с ярусным расположением фрагментов древних пенепленов

отчасти делювиально-пролювиально-аллювиального генезиса (лангурской свитой J_{2-3} ln, отчасти J_{1-2} ln) связано образование масштабных россыпей золота и платины на Северном Урале (Серовско-Ивдельской район), а также на западном склоне Среднего Урала. В россыпях накопился металл из эродированных местных коренных источников и дальнепринесенный за счет перемыва промежуточных коллекторов, представленных грубообломочными накоплениями в пределах субширотных палеопотоков раннемезозойского возраста [13].

Меловой пенеплен, сменивший в восточных выравненных частях Урала триасовый и юрский, наиболее полно представлен в пределах Зауральского пенеплена. При его формировании оказались выположенными, снивелированными под единый уровень породы палеозойского и допалеозойского субстрата. На несоответствие поверхности пенеплена структурным особенностям пород основания обратил внимание еще А. П. Карпинский (1915). Химические коры выветривания значительной мощности (до 30–50 м, а линейные коры до 100 м и глубже), почти сплошным чехлом перекрывают водораздельные пространства. В отдельных случаях на поверхности наблюдаются неизмененные породы. Способность противостоять агрегатам выветривания и денудации свойственна некоторым типам изверженных горных пород (монаднокам гранитоидов, телам серпентинитов), выходам кремнистых, окварцеванных пород и т. д.

Располагающийся западнее Приподнятый зауральский пенеплен характеризуется более пересеченным рельефом, а Откопанный пенеплен протягивается в виде узкой полосы вдоль восточной границы Зауральского пенеплена. Еще восточнее располагается Аккумулятивная равнина Зауралья (рис. 3).

За счет размыва рудоносных кор выветривания и коренных источников, отвечающих россыпеобразующим рудным формациям, в позднемеловое время были сформированы россыпи золота, связанные с аллювиальными отложениями сеноманского возраста (мысовской свитой – K_2 ms). Пространственно они повсеместно приурочены к мезозойским эрозионно-структурным депрессиям. Отложения представлены каолиновыми глинами белого, серого, желтовато-розового тонов, иногда черного цвета (из-за присутствия органики), а также подстилающими их кварцевыми песками и кварцево-кремнистыми галечниками. Россыпи на площади пенеплена мелового возраста сохранились фрагментарно, большей частью тяготея к областям развития глубокого заполненного карста. На остальных территориях сеноманские золотоносные отложения оказались размытыми, а содержащийся в них металл оказался вовлеченным в формирование более молодых комплексов россыпей (N_1^{1-2}, N_1^{2-3}, N_2^3, Q_{2-4}).

В завершении раздела следует отметить, что выполненное А. П. Сиговым палеогеоморфологическое районирование разновозрастных элементов рельефа Урала приобрело на современном этапе не только научное, но и прикладное значение. Оно позволило целенаправленно проектировать прогнозно-поисковые работы на экзогенные полезные ископаемые и, в первую очередь, на месторождения благородных металлов гипергенного генезиса. Наибольшую практическую значимость имеют следующие обоснованные в его работах научные положения:

– формирование триасового пенеплена во многом было предопределено тектоникой раннекиммерийской фазы складчатости; при этом по системе разломов были отшнурованы тектонически-стабильные блоки, подвергшиеся процессам пенепленизации;

– раннеюрской пенепленизации предшествовал следующий (позднекиммерийский) этап тектонических подвижек, который обособил по субширотной Каратауско-Челябинской тектонической зоне площадь формирования юрского пенеплена;

– при формировании мелового пенеплена ранее существовавшие россыпи юрского возраста были большей частью размыты с переотложением содержащегося в них металла в россыпи сеномана. Неблагоприятную роль при этом могла сыграть так называемая «бе-

ликовая толща» (K_1 ap-al), перекрывающая продуктивный горизонт позднемелового возраста от более древних золотоносных образований;

– установлено, что на восточном склоне Среднего Урала к северу от широтного течения р. Тагил (наследующей Туринскую тектоническую зону) получили развитие в зоне пенеплена только юрские россыпи, а к югу они исчезают, будучи замененными россыпями мелового возраста;

– на основе исследования эволюции россыпей во времени и пространстве выполнено геолого-геоморфологическое районирование Уральской россыпной провинции [14]. Это позволило ориентировать поисковиков при оценке площадей на выявление объектов конкретных возрастных и геолого-генетических типов. Установлено, что речная сеть в пределах Зауральского пенеплена южнее долины р. Миасс характеризуется слабым эрозионным врезом. Молодые комплексы россыпей в пределах современной гидросети здесь отсутствуют. Все попытки поисков россыпей золота в долинах рек Камышлы-Аять, Суундук и ряда других оказались безуспешными.

Особенности образования россыпей в условиях формирующихся пенепленов. Характеризуя минерагению мезозойских пенепленов, А. П. Сигов отмечает их особенность – широкое блуждание рек в процессе «разработки» древних поверхностей выравнивания. Сказанное во многом обусловило массовый размыв металлоносных кор выветривания с последующей концентрацией благородного металла в аллювиальных отложениях при неоднократно проявленных и сменяющих друг друга эрозионных циклах.

Как уже отмечено, реликты триасового пенеплена установлены на локальных площадях – в Таналык-Баймакской депрессии, на Зилаирском плато и ряде других мест. На остальных территориях «сильная орогения триаса» привела к размыву значительных масс минерализованных пород. Поскольку эрозия проявила себя крайне резко, выветривание за ней не успевало, и значительное количество металла (золота, платины) перемещалось по направлению к своим базисным зонам в связанном состоянии и на значительные расстояния. Образовавшиеся при этом толщи представляли промежуточные коллекторы аллохтонного типа, участвовавшие при последующем размыве в образовании более молодых комплексов россыпей [13].

Ранняя юра с ее каолиновым выветриванием и вовлечением в сферу размыва значительного объема горных пород была благоприятной для протекания процессов россыпеобразования. По вещественному составу рыхлые отложения юры относятся к типу «гумидных белоцветов». В эту же группу попадают отложения мысовской свиты сеномана и наурзумской свиты раннего миоцена.

В сеномане за счет размыва золотоносных кор выветривания и более древних континентальных отложений в условиях теплого гумидного климата сформировался позднемезозойский пенеплен. Возникшие в палеодолинах аллювиальные белоцветы мысовской свиты обычно являются россыпевмещающими. В то же время, А. П. Сигов обращает внимание, что эти отложения имеют более низкую обогащенность металлом по сравнению с лангурской свитой юрского возраста. Причиной этого могут быть: более низкий общий уровень эрозионного среза горных пород (120 м против 800 м в раннем мезозое); появление в разрезе непродуктивной «беликовой толщи» раннего мела, изолировавшей сеноманский аллювий от более древних металлоносных образований.

В работе [4] рассмотрены некоторые аспекты механизма формирования россыпей мезозойского возраста.

Образование аллювиальных россыпей происходило не одновременно на всем отрезке речных долин. Продуктивный (базальный) горизонт формировался лишь при донном и боковом размыве пород. Первый (глубинный) тип эрозии проявлял себя на неравновесных участках, постепенно («попятно») смещаясь к истокам рек; второй следовал за первым, также постепенно смещаясь вверх. Каждый новый эрозионный цикл наращивал общую элонгацию металла.

Изучение строения разреза пород лангурской свиты (на основе литологических, палеоботанических, спорово-пыльцевых, карпологических и других исследований) показало, что при формировании толщ происходила неоднократная смена эрозионных циклов, что сказалось на составе и возрасте пород. Возраст пород свиты оказался достаточно широким – от ранней до поздней юры. Так, на Лангуре и Мысовой это нижняя и средняя юра, на Ауэрбахе и Белке – верхняя юра и даже нижний мел [15].

При крутом продольном профиле равновесия рек элонгация металла могла быть наиболее высокой. На цоколе твердых и не выветрелых пород она оказывалась более значительной, чем в условиях площадного развития химических кор выветривания. В юре, когда ложе рек не всегда было представлено выветрелым материалом, продольный профиль палеорек был круче, нежели в мелу. В обломках переносился и полимиктовый материал, содержащий связанный с породой металл (золото, платину). Эти обломки разной крупности «дозревали» при выветривании и постепенно разваливались при транспортировке, наращивая общую элонгацию металла. Сказанное подтверждают многочисленные примеры на территории Урала.

В Исовском районе россыпи платины по долинам рек Ис и Тура удалены от первоисточников – массивов Светлый и Вересовый Бор на расстояние, превышающее 100 км (Высоцкий Н. К., Вернадский В. И. и др.).

К востоку от массива Денежкин Камень на расстоянии более 40 км располагается полоса, изобилующая богатыми золото-платиновыми россыпями. Если золото в россыпи могло поступать из местных коренных источников, то присутствие промышленных содержаний платины (светлой, мелкой и сильно истертой, по Н. К. Высоцкому) может быть объяснено значительной элонгацией металла от удаленных первоисточников.

Куст богатейших россыпей золота в пределах Андрее-Юльевского участка на Южном Урале приурочен к мезозойской депрессии, берущей начало с площади Кочкарского рудного поля. До настоящего времени остается открытым вопрос о том, за счет каких коренных источников сформировались эти высокопродуктивные россыпи, приуроченные к протяженным карстовым зонам [16]. Наряду с хорошо окатанным металлом в россыпях узла присутствует значительное количество золота рудного облика. Сказанное позволяет рассматривать объект как гетерогенный: золото в россыпи поступало не только из рассредоточенных и убогих местных коренных источников, но его основная масса была принесена с севера (на расстояние до 10 км) в связанном состоянии, высвободившись позднее при выветривании («дозревании») рудного обломочного материала.

Одной из особенностей россыпей благородных металлов на Урале является преемственность концентраций при формировании аллювиальных полихронных месторождений. Эту важнейшую закономерность многократного переотложения металла Анатолий Павлович назвал «исторической преемственностью россыпей». Примеры многократного переотложения золота установлены в большинстве ведущих рудно-россыпных узлов. При этом основными россыпевмещающими морфоструктурами являются мезозойские эрозионно-структурные депрессии (рис. 2).

Завершая рассмотрение вопросов, касающихся различных аспектов россыпеобразования пенепленизированных территорий, следует при проведении прогнозно-поисковых работ обращать внимание на следующие закономерности:

– высокие концентрации золота в россыпях могут возникнуть не только при разрушении промышленно значимых коренных источников, но и за счет убогой и рассредоточенной в пространстве благороднометалльной минерализации;

– при неоднократном перемыве россыпей в определенные временные отрезки (J_{2-3}, K_2, N_1^{1-2}, N_1^{2-3}, N_2 – Q) концентрация металла в наиболее молодых комплексах россыпных объектов обычно возрастает;

– значительный эрозионный срез блоков минерализованных горных пород может при-

вести к полному (или значительному) срезу коренных источников. Это обстоятельство необходимо учитывать при анализе системы «коренной источник – россыпь». При этом для конкретных участков следует отстраивать геолого-генетические модели накопления самородного золота с учетом уровня эрозионного среза и выполненных палеогеоморфологических реконструкций.

Проблемы изучения золотоносности, связанной с мезозойской (постколлизионной) активизацией. В своей последней опубликованной работе Анатолий Павлович обозначил ряд актуальных проблем, заслуживающих, по его мнению, пристального внимания и изучения. К их числу относится проблема оценки минерагенической роли мезозойской тектоники в Уральском регионе. «Обращает на себя внимание, – пишет он, – отсутствие карты мезозойской тектоники Урала; а ведь … такая карта необходима в практике работ не менее карты неотектоники» [1]. В объяснительной записке к карте новейшей тектоники Урала [17] ее авторы обращают внимание на необходимость наращивания знаний по этой проблеме «для промышленного прогнозирования и направления поисково-разведочных работ». В полной мере сказанное относится и к проблеме оценки роли мезозойской тектоники (отвечающей киммерийской фазе складчатости) в формировании структур уральского подвижного пояса, а также обоснования минерагенического потенциала этих структур.

Различные аспекты изучения тектоники мезозоя Урала затронуты в публикациях многих авторов. В основном они касаются тектонических процессов раннего мезозоя (Горский И. И., 1943; Архангельский Н. И., 1955; Буданов Н. Д., 1957; Каретин Ю. С., 1965; Вялухин Г. И., 1969, Расулов А. Т., 1982 и др.). Однако вопросы пространственной и генетической связи эндогенных рудно-метасоматических систем, связанных с мезозойскими структурами, в упомянутых работах практически не затронуты. Нет сведений о потенциальной рудоносности киммерийских структурных комплексов и в работах А. П. Сигова (фактический материал по этой тематике в те годы просто отсутствовал).

Ярким учеником и продолжателем научных концепций Анатолия Павловича был Валентин Соломонович Шуб (трагически ушедший из жизни 12 сентября 1994 г., что создало вакуум в ряде важнейших направлений Уральской геологической службы). Круг профессиональных интересов Валентина Соломоновича был чрезвычайно широк: геология, палеогеоморфология, стратиграфия, литология, экзогенная минерагения. Но основное внимание было уделено изучению мезозойского этапа развития Урала и Зауралья. В середине 70-х годов в развитие идей Анатолия Павловича им подготовлен к изданию макет общеуральских геоморфологических карт масштаба 1:2500000. Объяснительная записка к картам содержит сведения обо всех ведущих геоморфологических элементах рельефа. В последние годы жизни В. С. Шуб занимался проблемами континентальных перерывов в геологической истории Урала и сопряженных с ними процессов тектономагматической активизации (ТМА).

В 1991 г. сотрудники УГСЭ (В. С. Шуб, В. Я. Левин, К. К. Золоев) составили региональную карту мезозойской тектономагматической активизации. На ней отражены продукты трех выделенных этапов ТМА: P_2-J_1, J_2-K_2, и P_3-Q. Рассмотрены критерии диагностики продуктов ТМА, дана оценка их минерагенического потенциала [18, 19]. Отмечается, что зоны мезозойской активизации частично (или полностью) перекрывают площади распространения более ранних продуктов рудогенеза, что во многом затрудняет диагностику их структурно-вещественных комплексов. Подчеркнуто, что обоснование границ выделенных зон и районов MZ ТМА произведено не столько по распространению магматических формаций (крайне ограниченно проявленных на уровне современного эрозионного среза), а, в основном, по совокупности признаков. В их числе: геохимические ореолы сурьмы и ртути, шлиховые ореолы киновари, пункты развития «глинизированных» пород

повышенной мощности, зоны развития глубокого и сверхглубокого карста, некоторые геофизические аномалии и ряд иных минералогических признаков (типоморфные особенности самородного золота, присутствие «свежего» пирита и т. д.).

Проблемой изучения постколлизионных рудно-метасоматических процессов с середины 90-х годов занимается коллектив сотрудников факультета геологии и геофизики Уральского государственного горного университета (Грязнов О. Н., Баранников А. Г., Угрюмов А. Н., Душин В. А. и др.). Актуальность подобных исследований очевидна. За 270-летний период эксплуатации традиционных для уральского региона жильных месторождений золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой формаций их фонд близок к исчерпанию. Следовательно остро встала проблема определения рациональных направлений прогнозно-поисковых и оценочных работ на золото как на ближнюю, так и на отдаленную перспективу. В этой связи пристального внимания заслуживает проблема оценки перспектив Уральского региона на новый и пока что слабо изученный тип *золото-аргиллизитового оруденения* [20].

Аргиллизиты обычно завершают длительный и растянутый во времени процесс золотого рудогенеза. В наибольшей степени эти метасоматиты проявили себя на заключительном этапе развития Уральского складчатого пояса, развиваясь в активизированных структурно-вещественных комплексах, содержащих некоторое количество золота в генетически разнородных объектах. Под воздействием низкотемпературных гидротермальных растворов происходило переотложение металла, его вовлечение в новые гидротермально-метасоматические циклы. В узлах эндогенной активизации отмеченные процессы могли привести к формированию полихронных и полигенных золоторудных объектов [20, 21].

На современном уровне изучения проблемы возможно выделение двух стадий развития MZ ТМА: ранняя, P_2-J_1, и поздняя, J_2-K_2. С наибольшей интенсивностью проявилась ранняя стадия. Она выразилась в подновлении разнопорядковых разломов складчатого Урала, формировании наложенных тектонических угленосных структур, покровно-надвиговых дислокаций, в ограниченном проявлении магматизма. Формирование золоторудных объектов телетермального типа второй (поздней) стадии уже происходило на фоне регионального развития химических кор выветривания площадного и линейного типов, было тесно сопряжено с процессами пенепленизации складчатых структур. При этом были зафиксированы тектонические подвижки, проявлен ущербный магматизм, отмечено продолжение гидротермально-метасоматических процессов.

Телетермальный рудогенез в условиях масштабной пенепленизации протекал со значительным временным отставанием от пика магматической активности. Формирующиеся при этом рудные скопления несут признаки малоглубинной природы. Они отражают суммарный результат как восходящих гипогенных ювенильных растворов, так и нисходящих высокореакционных метеорных вод. Именно этот смысл следует вкладывать в понятие *гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения* – когда эндогенные и экзогенные процессы оказались сближенными во времени и пространстве [22]. Отмеченные процессы нередко локализованы в плотике россыпных месторождений, образовавшихся при денудационном снижении рудоносных блоков с более ранним золотом березит-лиственитовой формации. Известные на сегодня проявления процессов мезозойского золотого рудогенеза представлены практически во всех структурно-формационных зонах Урала и в вещественных комплексах различных палеогеодинамических обстановок. Они проявили себя в пределах известных рудно-россыпных узлов и на «новых площадях».

Месторождения золото-аргиллизитовой формации представляют *новый нетрадиционный для региона геолого-промышленный тип.* Два месторождения этого типа – Светлинское и Воронцовское (где важную роль в их образовании имели процессы пост-

коллизионной активизации), выявленные в начале 80-х годов прошлого столетия, представляют основную сырьевую базу рудного золота в регионе. Низкотемпературные гидрослюдистые метасоматиты аргиллизитовой формации обнаружены в последние годы на Приполярном Урале: золоторудное месторождение Новогоднее-Монто, золотосодержащие фосфатоносные коры выветривания Софроновского месторождения, золотопроявления Хальмерьюзского рудного узла и т. д. Исследованиями В. А. Душина [23] установлено, что современный структурный план Уральской аккреционно-складчатой системы был сформирован в мезозое. Одной из потенциально золотопродуктивных является Собско-Нундерминская шовная зона. Она представляет собой пликативно-дизъюнктивную систему северо-западной ориентировки субпараллельных тектонических структур надвигово- и сбросо-надвигового типа, содержащую клинья разновозрастных породных комплексов (рифейско-палеозойских). Выделенные в этой зоне перспективные рудно-метасоматические узлы содержат благороднометалльную минерализацию (золото, платину). Установлен сопряженный характер проявленных на площади метасоматитов (березитизация-аргиллизация) и оруденения различной формационной принадлежности, что свидетельствует о продолжительности и многостадийности процессов рудогенеза. Приведенные в публикациях В. А. Душина геохронологические датировки магматических пород различного состава, выполненные с применением современных методов (K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nb), показали широкий возрастной диапазон проявленных в шовных зонах «молодых» рудно-метасоматических процессов (от 240–254 млн лет до 81,3 млн лет).

Заключение. Научное наследие А. П. Сигова отличается масштабностью, широтой рассматриваемых проблем, актуальностью, «заостренностью» на получение конкретных практических результатов. Еще раз обратим внимание на следующие отраженные в многочисленных публикациях научные концепции.

1. В мезозое в пределах Уральского подвижного пояса при благоприятном сочетании палеотектонических и палеоклиматических факторов произошла масштабная пенепленизация региона. Эти процессы с теоретически завершенными (конечными) циклами выравнивания рельефа были проявлены в геологической истории неоднократно (в триасе, юрское и меловое время), что обусловило грандиозность гипергенного преобразования пород субстрата с формированием масштабных скоплений полезных ископаемых. Пенеплены различного возраста следует рассматривать как «реперные площадки», позволяющие анализировать вертикальные перемещения крупных блоков земной коры и использовать эти данные при оценке минерагенического потенциала конкретных территорий.

2. Установлено, что: а) на восточном склоне Среднего и Северного Урала в зоне юрского пенеплена развиты древние россыпи исключительно юрского возраста, а в южной части в зоне мелового пенеплена – россыпи мелового возраста; б) на Южном Урале в области Зауральского пенеплена отмечен слабый эрозионный врез современной гидросети; россыпное золото в этих долинах не образует промышленных концентраций.

3. Для россыпей золота и платины, формировавшихся в условиях пенепленизации рельефа, характерен ряд особенностей, касающихся уровня элонгации металла, его заимствование при перемыве промежуточных коллекторов. При неоднократной трансформации россыпей уровень концентрации металла в наиболее молодых комплексах обычно возрастает.

4. При исследовании системы «коренной источник-россыпь» недостаточно ограничиваться анализом структурно-геоморфологических карт и выявленных минералого-геохимических признаков. Необходимо выполнение палеогеоморфологических и палеотектонических реконструкций (с отстройкой моделей развития рудно-россыпных узлов).

5. Сопряженно с масштабным гипергенезом в мезозое проявила себя рудоносность, связанная с постколлизионными гидротермально-метасоматическими процессами зо-

лото-аргиллизитовой формации. Она установлена как на площадях с уже выявленной золотоносностью, так и в заново сформированных структурных зонах. Эти объекты рассматриваются в ранге нового нетрадиционного для Урала типа золотого оруденения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сигов А. П. Воспоминания геолога-полевика / под ред. В. М. Якушева. Екатеринбург: Изд-во «РУТА-Фонд», 1997. 12 с.

2. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Изд-во Недра, 1969. 296 с.

3. Сигов А. П. Основные эпохи корообразования Урала и их металлогения: сб. «Коры выветривания Урала». Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1969. С. 13–20.

4. Сигов А. П., Ромашова В. И. Закономерности образования и размещения золото-платиновых россыпей Урала. Свердловск: Изд-во УКСЭ, 1977. 208 с.

5. Сигов А. П., Ромашова В. И. Геолого-геоморфологические критерии прогнозирования россыпных и рудных месторождений золота Урала (методические рекомендации по прогнозированию кварцевожильных и россыпных месторождений). Свердловск: Изд-во «Уралгеология», 1987. 123 с.

6. Davis N. M. The geographical cycle // Geogr. J. 1899. № 14. P. 481–504.

7. Наумов А. Д. Пенеплены. Их геолого-генетическое значение как особой генетической категории рельефа материков. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1981. 404 с.

8. Гузовский Л. А. Проект легенд для среднемасштабных карт кор выветривания Урала: сб. «Коры выветривания Урала». Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1969. С. 21–25.

9. Bhaskara Rao A. Lateritised gravel bed: a new guide horizon for lateritic gold // Chem. Geol. 1987. Vol. 60. N 1–4. P. 287–291.

10. Каретин Ю. С. К вопросу о палеогеографии триасового периода на восточном склоне Урала (по материалам Богословской депрессии) // Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 2. М.: Недра, 1971. С. 157–163.

11. Копейкин В. А. Физико-химическая модель латеритного процесса: автореф. дис. … докт. геол.-минерал. наук. Новосибирск, 1984. 33 с.

12. Геолого-генетические основы прогноза и поисков месторождений золота в корах выветривания / Н. М. Риндзюнская [и др.]. М.: ЦНИГРИ, 1995. 42 с.

13. Баранников А. Г., Осовецкий Б. М. Платиновые и платиносодержищие россыпи Урала, критерии и признаки их пространственной связи с первоисточниками // Изв. УГГУ. Вып. 3(35). Екатеринбург, 2014. С. 12–29.

14. Россыпные месторождения золота Урала / В. С. Шуб [и др.] // Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1994. № 2(6). С. 27–50.

15. Сигов А. П., Якушев В. М. Новые данные о возрасте лангурской свиты // Материалы по геоморфологии Урала. Вып. 2. М.: Недра, 1971. С. 163–165.

16. Баранников А. Г., Шуб И. З. О связи россыпей золота с коренными источниками на примере месторождений Южного Урала // Вопросы поисков, разведки и опробования рудных месторождений. Вып. 74. Свердловск, Изд-во СГИ, 1970. С. 9–14.

17. Новейшая тектоника Урала. Т. V. Материалы по металлогении Урала / под. ред. А. П. Сигова, В. А. Сигова. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1975. 109 с.

18. Металлогения зон тектономагматической активизации на Урале / В. Я. Левин [и др.] // Геодинамика и металлогения Урала: матер. к II Уральскому металлоген. совещ. / УрО АН СССР. Свердловск, 1991. С. 45–47.

19. Золото Урала. Россыпные месторождения (к 250-летию золотой промышленности Урала) / В. С. Шуб [и др.]. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1993. 135 с.

20. Грязнов О. Н., Вахрушев С. Н. Золото-аргиллизитовая формация Урала // Руды и металлы. 1997. № 2. С. 73–84.

21. Грязнов О. Н., Баранников А. Г., Савельева К. П. Нетрадиционные типы золото-аргиллизитового оруденения в мезозойских структурах Урала // Изв. УГГУ. Вып. 22. Екатеринбург, 2007. С. 41–54.

22. Грязнов О. Н., Баранников А. Г., Савельева К. П. Нетрадиционные типы золоторудных месторождений Урала // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых: Междунар. конф., посв. 80-летию основания в Томском политехн. ун-те первой в азиатской части России каф. «Разведочное дело»: матер. науч. конф. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2010. С. 320–325.

23. Баранников А. Г. Гипогенно-гипергенный тип золотого оруденения на Урале // Изв. УГГГА, сер. «Геология и геофизика». 1998. Вып. 8. С. 94–99.

24. Душин В. А. Активизированные шовные зоны – новый перспективный объект благороднометалльной минерализации на Полярном Урале // Региональная геология и металлогения. № 29. 2006. С. 73–87.

Поступила в редакцию 20 февраля 2015 г.

Баранников Александр Григорьевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии, поисков и разведки МПИ. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru