

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.435.2(571)

ГЛИКО О. А.

**ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ПОВЕРХНОСТЕЙ
ВЫРАВНИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ)**

Рассматривается возможность применения статистического метода для выделения и изучения поверхностей выравнивания. Умеренная трудоемкость метода, надежность получаемых результатов делают возможным более широкое использование поверхностей выравнивания в палеогеоморфологических построениях и для определения глубины эрозийного вскрытия рудоносных структур в районах мезозой-кайнозойского оруденения.

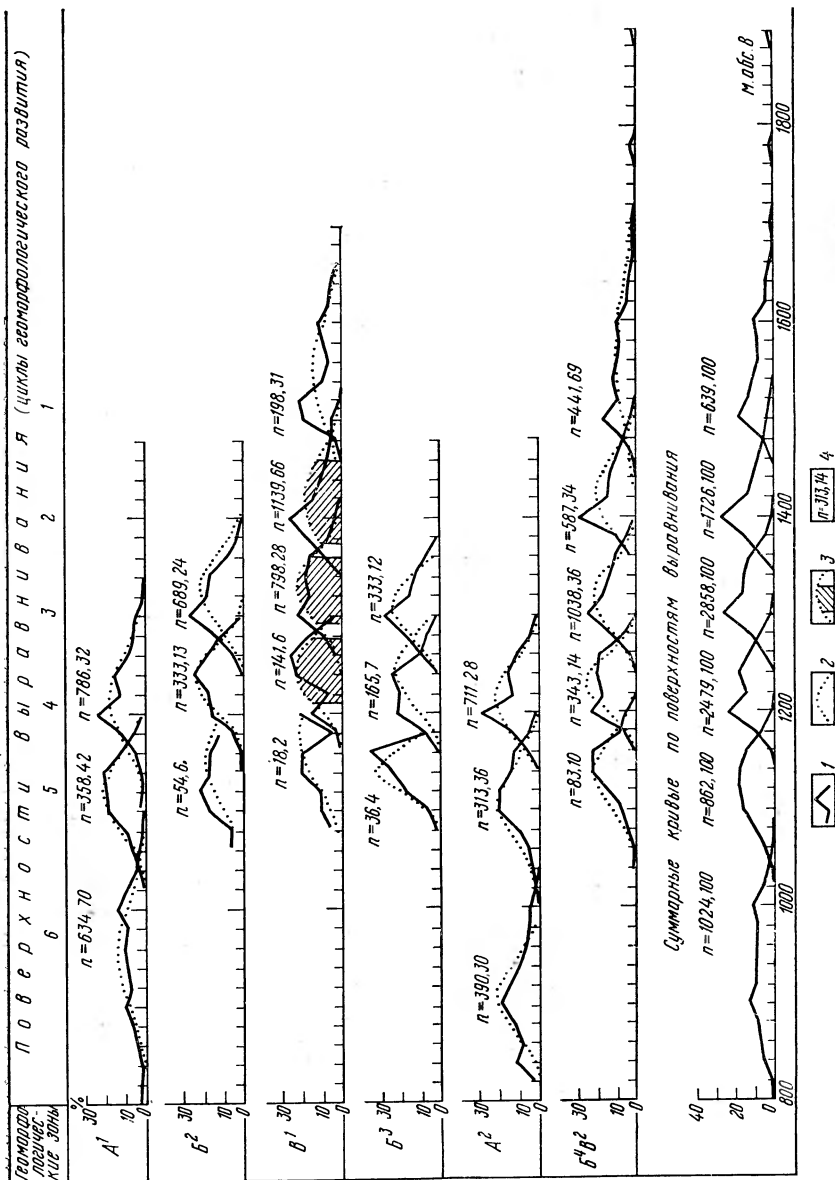
Широкое использование поверхностей выравнивания в научных и практических целях сдерживается недостаточной отработанностью методики их надежного выделения. Применение количественного анализа приводит к значительному совершенствованию этого процесса. Опыту такого анализа и посвящена настоящая статья. Исследование выполнено по десяти листам крупномасштабной топографической карты района Западного Забайкалья, охватывающего Малханский хребет и небольшую часть Хэнтэй-Даурского поднятия.

Выделение поверхностей выравнивания осуществлялось следующим образом: 1) на топографических картах оконтуривались участки земной поверхности с углом наклона менее 5° и фиксировались перегибы продольных профилей рек (русловых ступеней) и седловин с проставлением высотных отметок; 2) выделенные пологие участки группировались по интервалам их высотного положения путем обобщения высот, приуроченных к вершинным поверхностям и перепадам высот между смежными поверхностями выравнивания; 3) производилось районирование поверхностей выравнивания с выделением продольных зон: низких (вдоль долин), низких и средних (в краевых частях горных хребтов) и высоких (осевые зоны хребтов); 4) результаты исследований обрабатывались с помощью математических методов.

Сопоставление данных о возрасте рельефа и корях выветривания позволили выделить две категории поверхностей выравнивания: а) длительного денудационного выравнивания (позднеюрская — меловая; поздне-меловая — среднепалеогеновая с каолиновой корой выветривания), б) денудационного и денудационно-аккумулятивного выравнивания (олигоцен — раннемиоценовая с каолиновой корой выветривания; средне-позднемиоценовая с монтмориллонитовой корой выветривания; ранне-среднеплиоценовая с монтмориллонитовой красноцветной корой выветривания; позднеплиоценовая — четвертичная) [1—5].

Распределение высот поверхностей выравнивания показано на рис. 1. Данные приведены по продольным зонам и суммарно. Графики по каждой зоне показывают распределение количества зафиксированных точек определенной высоты (с интервалом 20 м) в пределах каждой из выделенных поверхностей выравнивания. По горизонтальной оси координат дана шкала высот, по вертикальной — частота (количество зафиксированных точек), выраженная в процентах к общему количеству в пределах данной поверхности выравнивания.

Каждая кривая распределения высот слабо асимметрична. Наиболее часто встречаемые высоты, выраженные вершиной кривой, представляют моду распределения — наиболее ожидаемые высоты, которые являются характерной особенностью данной поверхности выравнивания и прини-



маются за ее модальный уровень. На фоне экспериментальных кривых приводятся соответствующие им теоретические (вычисленные) кривые нормального распределения. Сопоставление обеих кривых показывает их незначительные отклонения, означающие, что фактически устанавливаемое распределение высот поверхностей выравнивания согласуется с нормальным законом распределения случайных величин. Каждая из поверхностей выравнивания характеризуется своим модальным уровнем. Так, для суммарных кривых (нижний ряд на рис. 1) модальный уровень 1-й поверхности выравнивания равен 1200 м, 2-й поверхности — 1400 м.

Сопоставление графиков по каждой поверхности выравнивания разных геоморфологических зон показывает, что большая часть поверхностей выравнивания имеет модальные уровни, повышающиеся к осевой части хребта. Разница высот при этом составляет 40—60 м. Кривые распределения высот смежных поверхностей выравнивания в пределах одной зоны перекрывают друг друга, но их модальные части выделяются четко (см. наложенную штриховку на графиках 4-й, 3-й, 2-й поверхностей выравнивания зоны B^1 , рис. 1). Неперекрываемая модальная часть

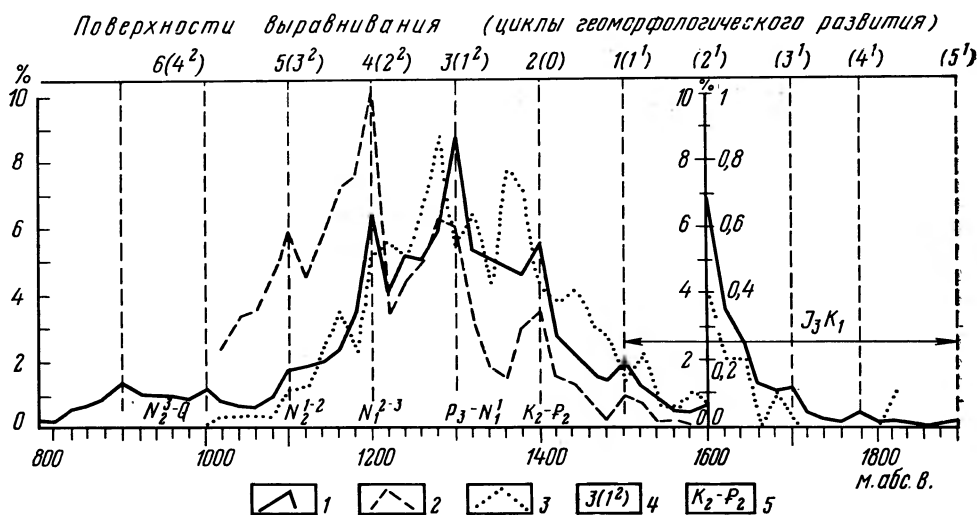


Рис. 2. График распределения выборочной совокупности высот поверхностей выравнивания, русловых ступеней и седловин района исследования

Графики распределения высот: 1 — поверхностей выравнивания (количество точек, обособывающих кривую, $n=9620$), 2 — русловых ступеней ($n=536$), 3 — седловин ($n=822$), 4 — номера поверхностей выравнивания: первая цифра — принятые в тексте статьи, вторая (в скобках) — принятые на рис. 4, где за нулевую поверхность выравнивания принята 2-я пенепленизированная поверхность с модальным уровнем 1400 м абс. высоты. Цифры обозначают номер этапа геоморфологического развития; 5 — возраст основного этапа развития поверхности выравнивания

площади, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, составляет значительную часть общей площади¹. Это означает, что основные части поверхностей выравнивания, приуроченные к модальным уровням, надежно выявляются и поэтому всегда доступны для изучения не только в отдельно выделенных поверхностях выравнивания, но и в суммарном графике всей (выборочной) совокупности зафиксированных высотных точек, без предварительного выделения отдельных поверхностей выравнивания (рис. 2).

На кривых распределения высот 1-й поверхности выравнивания (рис. 1) выделяется несколько пиков, которые по аналогии с остальными можно считать отражением реликтов самых высоких из сохранившихся поверхностей выравнивания. По каждой из них можно построить самостоятельный график.

¹ Эта часть площади близка по величине удвоенному интегралу Лапласа и составляет 0,68 часть общей площади, ограниченной кривой.

Характерной особенностью кривых распределения по отдельным поверхностям выравнивания является их асимметричное строение (см. рис. 1). Выделяются кривые с вершинами, сдвинутыми влево (+) и вправо (—). Степень асимметрии определяется коэффициентом асимметрии (K_a). Левая (положительная) асимметрия означает преобладание в данной поверхности выравнивания высот, меньших по сравнению со средними высотами, правая (отрицательная) — преобладание высот с большими отметками. При левой асимметрии модальный уровень вырабатывался после значительного переуглубления (1-я поверхность — 180 м, 2-я — 140 м, 3-я — 80 м); при правой — амплитуда вреза незначительная (4-я и 5-я поверхности — 40 м). Отметим, что средняя арифметическая величина K_a увеличивается от низких поверхностей к высоким, отрицательные значения тяготеют к низким поверхностям (5-я и 4-я), положительные свойственны высоким (3-я, 2-я, 1-я). Может быть выделено три основных морфологических типа кривых — одновершинная кривая с несколько асимметрично построенными крыльями, двухвершинная и промежуточная — одновершинная с дополнительной ступенью. Эти формы имеют зеркальное выражение с левой и правой асимметрией. Правая асимметрия имеет ограниченное распространение. На асимметрию распределения высот оказывают влияние движения земной коры, фиксируемые в строении поверхностей. Конкретное рассмотрение рельефа изучаемой поверхности выравнивания всегда позволяет установить причину асимметрии в распределении высот, поскольку она определяется соотношением врезания, выравнивания и проявлением тектонических движений.

Частота модальных уровней показывает относительное количество зафиксированных точек наблюдения и грубо — относительную распространенность модальных уровней. Эта зависимость подтверждается соотношением размеров площадей геоморфологических зон и количества зафиксированных в их пределах точек поверхностей выравнивания, выраженных в процентах. Расхождение этих величин не превышает 1—6%. По распространенности модальные уровни поверхностей выравнивания расположены в следующем порядке (см. рис. 2): 3-я — 35%, 4-я — 27%, 2-я — 22%, 5-я — 8%, 1-я — 5%, нулевая — 3%. Близкие процентные отношения дают суммы частот по поверхностям выравнивания, порядок расположения сохраняется. В обобщенном виде график выборочной совокупности отражает слева направо совмещенные геоморфологические профили через впадины — опущенные блоки, где развиты в основном поверхности 6-я, 5-я и 4-я, и хребты — поднятые блоки, где сосредоточены более высокие поверхности выравнивания. Депрессии между пиками фиксируют интервалы высот, в пределах которых поверхности выравнивания по уровням своего развития накладываются друг на друга и где их статистическое выделение в общей совокупности невозможно. В то же время изучение размещения на карте минимальных и максимальных высот поверхностей выравнивания имеет большое значение. Эти интервалы высот особенно хорошо выделяются на кумулятивных гипсографических кривых поверхностей выравнивания, на которых частоты высот откладываются в ранее принятой системе координат нарастающим итогом, с постепенным наращиванием суммы высот низких значений к высоким. Эти кривые имеют пологую основную среднюю часть с круто опускающимися и воздымающимися окончаниями, означающими резкое сокращение частот. Изучение карты показывает, что причины резких изменений отметок поверхностей выравнивания в их наиболее низких и высоких частях могут быть выявлены. Например, сокращение частот нижних отметок 1-й поверхности выравнивания и верхних — 2-й и 3-й поверхностей связаны с планацией в условиях мерзлотного режима. Нижние ветви третьего и пятого циклов приурочены к краевым частям крупных понижений рельефа; обе ветви 4-й поверхности представляют аномальные высоты в районе развивающихся пликтивных структур, приуроченных к крупному поднятию в пределах древней долины Ингоды. Это поднятие находит отражение в аномально-высоких отметках вер-

него окончания гипсографической кривой 6-й поверхности. Нижняя ее ветвь отражает наиболее низкие участки долин Чикоя и Ингоды. Таким образом, вторая группа окончаний гипсографических кривых в отличие от первой, связанной с проявлением мерзлотного режима, отражает тектонические движения формирующихся положительных и отрицательных структур по крайней мере двух порядков.

Количество зарегистрированных точек по каждой поверхности выравнивания в пределах отдельных геоморфологических зон можно представить себе как матрицу (см. рис. 1). Количество зарегистрированных точек наблюдений в каждой ячейке матрицы выражено в абсолютных числах и в процентах. В пределах пятого геоморфологического цикла устанавливается, что поверхность выравнивания в основном развита во впадинах (A^1 и A^2), суммарно составляя $42+36=78\%$. Распространенность 5-й поверхности в краевой и осевой частях горных хребтов резко и последовательно сокращается (в пределах 6—2%). Данные по четвертому циклу развития показывают, что закономерность остается прежней, изменяются относительные показатели, которые выражаются в уменьшении количества фиксированных точек во впадинах за счет возрастания их в пределах горных хребтов, тем не менее основное количество точек еще остается во впадинах ($32+28=60\%$). Третий геоморфологический цикл характерен перенесением центра тяжести в осевую часть хребта с распределением реликтов поверхности выравнивания только в зонах B и B с преобладанием в зонах B (48%), хотя суммарное количество несколько больше в зонах B (52%). 2-я и 1-я поверхности выравнивания развиты только в осевых частях хребтов. Таким образом, при переходе от более молодых к более древним циклам, мы получаем возможность проследивать процесс развития рельефа во времени. Можно отметить и еще одно изменение — рост абсолютного количества точек, фиксирующих поверхности выравнивания от 5-й к 3-й, больше чем в 3 раза (см. рис. 1 — суммарные кривые). При переходе к следующей — 2-й поверхности наблюдается обратное явление — сокращение примерно в 1,5 раза и к 1-й поверхности — в 4,5 раза. Такое изменение может быть объяснено тем, что 2-я поверхность выравнивания подвергается уничтожению наступающими со стороны впадин последующими циклами. Сравнивая абсолютные количества точек, фиксирующих поверхности выравнивания, можно прийти к выводу, что выравнивание второго этапа выразилось более полно в пределах Малханского хребта по сравнению с Хэнтэй-Даурским поднятием.

Пересчет в проценты зафиксированных точек поверхностей выравнивания по геоморфологическим зонам вскрывает еще одну интересную особенность. Распространенность поверхностей выравнивания в геоморфологических зонах (от низких к более высоким, от молодых к более древним) изменяется строго закономерно. Наиболее полно эти закономерности выражены в осевых частях хребтов (в зонах B^1 и B^2), где развита полная серия поверхностей выравнивания. В Малханском хребте от 5-й к 4-й поверхности и от последней к 3-й устанавливается шестикратное увеличение, затем темп снижается до двукратного. При этом наблюдается смещение закономерно расположенных величин при переходе от более низкой зоны к более высокой на один ряд вправо. На Хэнтэй-Даурском поднятии приведенная зависимость выдерживается, но с некоторыми незначительными отклонениями. Здесь также отмечается относительное сокращение точек, фиксирующих 2-ю поверхность выравнивания. Одновременно устанавливается более широкое развитие 1-й поверхности в Хэнтэй-Даурском поднятии, что связано с иными условиями геологического развития.

Эти удивительно выдержанные геоморфологические ритмы могут быть отражением определенного отношения эндогенных и экзогенных процессов и, очевидно, заложены в строгой устойчивости амплитуды циклических поднятий земной коры, что устанавливается по графику выборочной совокупности, на котором модальные уровни располагаются друг от друга на расстоянии 100 м. Начиная с 6-й поверхности отметки

этих уровней таковы: 900 и 1000, 1130, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1780, 1900 м (см. рис. 2).

Представляет интерес распределение по геоморфологическим зонам русловых ступеней. Каждая русловая ступень фиксирует своим местоположением и высотной отметкой нижнее ограничение вреза или поверхности выравнивания цикла, к которому она отнесена, и ступень вниз по течению реки, образованную наступающим врезом более молодого геоморфологического цикла. Совмещение графиков распределения высот русловых ступеней (построенных по тем же принципам, что и графики по поверхностям выравнивания) и поверхностей выравнивания показало, что их модальные уровни совпадают (см. рис. 2). Это подтверждает наличие генетической связи русловых ступеней и поверхностей выравнивания. Более подробное изучение распределения русловых ступеней разных циклов развития в геоморфологических зонах (А, Б и В) показывает, что циклические врезы более древних циклов дальше продвинулись в ядро горных хребтов. При этом устанавливается, что циклы восходящего развития второго геоморфологического этапа продолжают свое развитие одновременно. Это лишь раз подчеркивает необходимость различать время заложения поверхностей выравнивания и время их формирования в разных геоморфологических зонах.

Соотношение распределения врезов и поверхностей выравнивания иллюстрируется диаграммой (рис. 3), составленной для Малханского хребта и прилегающих к нему частей впадин. Данные по впадинам и отдельно по склонам просуммированы. На диаграмме наглядно улавливается перемещение врезов к центральной части хребта во времени. Развитие поверхностей выравнивания, выдерживая ту же поступательную тенденцию, отстает от врезов. В этом отношении показательны цифры, характеризующие перемещение врезов и развитие 5-й, 4-й и 3-й поверхностей выравнивания в зоне В, соответственно 24—3, 42—13, 80—44%. Дальнейшее изучение в приведенном направлении с учетом расстояний между врезами смежных циклов позволит проследить более подробно во времени взаимоотношение процессов формирования и разрушения поверхностей выравнивания.

При составлении карты поверхностей выравнивания помимо русловых ступеней фиксировались и седловины. На рис. 2 видно, что максимумы развития седловин располагаются с обеих сторон от моды поверхностей выравнивания и максимумов русловых ступеней.

Локальное изучение поверхностей выравнивания позволяет углубленно исследовать строение и развитие морфоструктур. С этой целью используется совмещенный профиль поверхностей выравнивания, составленный по выделенной полосе карты поверхностей выравнивания. На профиль проектируются интервалы высот, занятые выровненным рельефом; наносятся границы интервалов, занятых поверхностями выравнивания; производится общее оконтуривание профиля. Такой профиль через Малханский хребет отразил асимметричное строение хребта с высоким положением юго-восточного края хребта, ограниченного разломом, падение литосферной глыбы к северо-западу (3 м/км), наличие в этом

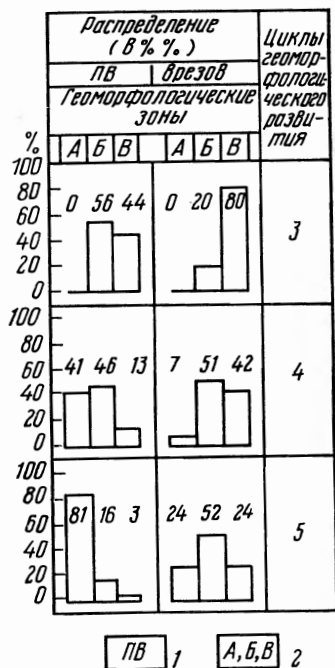


Рис. 3. Распределение зафиксированных точек поверхностей выравнивания и врезов по геоморфологическим циклам и зонам Малханского хребта (в % по циклам)

1 — поверхность выравнивания; 2 — продольные зоны: А — долины крупных рек, обрамляющих хребет с юга и севера, Б — склоны хребта, В — осевая часть хребта

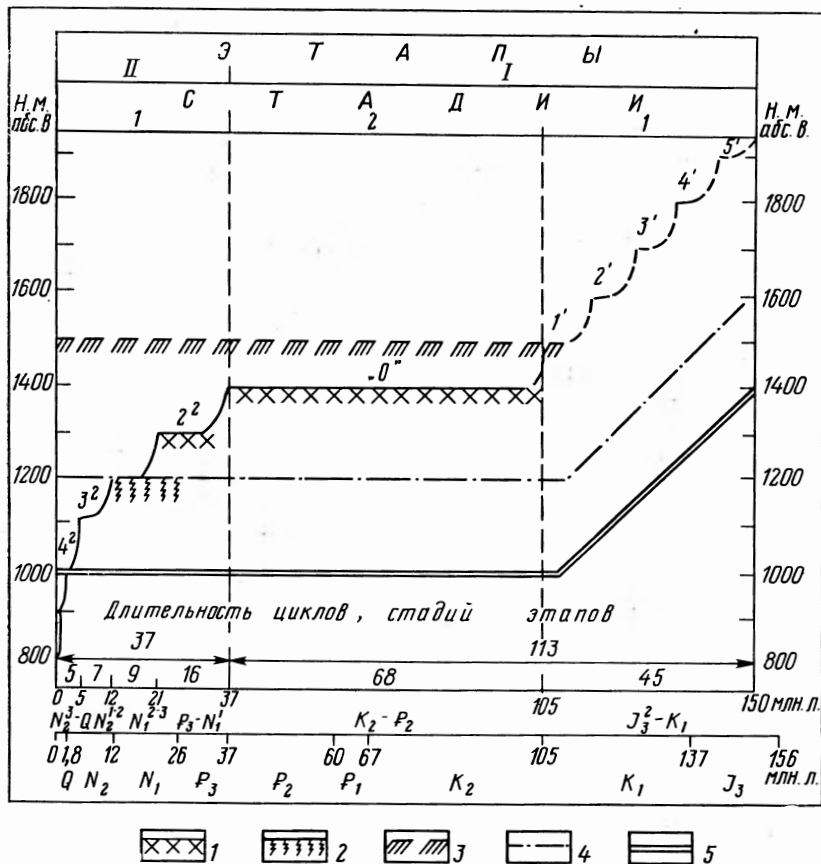


Рис. 4. Схема геоморфологического развития

Стадии I этапа: 1-я — восходящая с формированием в условиях горообразования мантипленов [7] (при ведущем процессе педиפלенизации) — пяти циклических поверхностей выравнивания от 5¹ до 1¹; 2-я — нисходящая с образованием в стабильных тектонических условиях планиплена (при ведущем процессе пенеפלенизации) — нулевой поверхности выравнивания, стадийной, завершающей I этап и исходной для II этапа. II этапа: 1-я — восходящая с формированием в условиях горообразования мантипленов (при ведущем процессе педиפלенизации) — шести циклических поверхностей выравнивания от 1² до 6². Коры выветривания: 1 — каолиновая, 2 — монтмориллонитовая; 3 — выровненная часть дневной поверхности времени рудообразования для субвулканических постмагматических месторождений, ниже ее, в интервале высот 1500—1350 м — надореальная зона со слабопроявленными поисковыми признаками; в интервале 1350—1200 м — надрудная ореольная зона, 4 — верхняя граница рудообразования, ниже — зона оруденения, 5 — горизонт оптимального оруденения на уровне 1000 м

направлении циклических ступеней (второго, третьего, четвертого циклов) шириной 4—6 км, отражающих развитие морфоструктуры с ее расширением к северо-западу за счет приподнимающегося рельефа четвертого и пятого циклов. Устанавливаются слияния, а также ограниченное распространение поверхностей выравнивания в местах, не подвергшихся регрессивной эрозии.

Во впадинах прослеживание поверхностей выравнивания позволяет выделить поперечные поднятия с вулканогенным рельефом, выраженным в рельефе пликативными и дизъюнктивными дислокациями. Последние обуславливают слияние наклонных поверхностей выравнивания и изменение направлений речной сети (поверхности 4-я, 5-я). Анализ строения поверхностей выравнивания приводит к выводу, что 3-я, 4-я и 5-я поверхности, начиная с палеоген-неогенового времени, формировались путем педиפלенизации. Пенеפלенизация проявилась только в верховьях долин в основном третьего и редко четвертого циклов и выражается в их слиянии с пенеפלенизированной поверхностью второго цикла. Это слияние обязано, вероятно, мерзлотному режиму, способствующему плоскостному смыву и сдерживающему развитие линейных эрозионных врез. По-

верхность выравнивания второго цикла мел-палеогенового возраста резко выделяется своей выровненностью. Занимая водораздельную часть Малханского хребта, она представляет не отдельные небольшие выложенные участки, отделенные друг от друга, а вытягивается цельной пологовыровненной поверхностью вдоль хребта и его ответвлений на многие километры, т. е. подверглась предельной пенеппенизации.

На рис. 4 приведена схема геоморфологического развития. 2-я поверхность выравнивания (K_2-P_2) выделяется чрезвычайной длительностью формирования — 68 млн. лет. Эта пенеппенизированная поверхность, с которой было связано формирование каолиновой коры выветривания, приурочена к нисходящей стадии, завершающей I этап геоморфологического развития, восходящая стадия которого протекала в позднеюрское — раннемеловое время [6]. Длительность восходящей стадии 45 млн. лет, и выражена она примерно пятью циклами. Завершающая поверхность выравнивания является стадийной, так как она развивалась длительно и привела к уничтожению древнего рельефа на значительных площадях с сохранением его останцов. Активизация начинается в позднем палеогене. Вся последующая история представляет восходящую стадию нового — II этапа развития; позднемеловая — среднепалеогеновая поверхность является для него исходной. Эта пенеппенизированная поверхность обозначена на схеме нулевой, все остальные поверхности выравнивания относятся к незавершенным, представляют собой педиппены [7] и пронумерованы начиная от нулевой поверхности.

Представленная схема геоморфологического развития может быть использована для показа различных глубинных уровней рудных полей, следовательно, и их вскрытия по мере все углубляющегося расчленения рельефа. Если за дневную поверхность времени рудообразования принять поверхность 1^а (1500 м), то уровень разграничения надореальной и надрудной ореальной зон рудных полей можно ожидать на глубинах 1350 м, уровень разграничения ореальной надрудной зоны и собственно рудной — на глубине 1150 м, уровень оптимального оруденения — на отметке около 1000 м. Положение этих уровней относительно современной дневной поверхности показано на рис. 4. Возможно существование нескольких этапов рудной минерализации, соответственно роль исходной поверхности будут играть другие поверхности выравнивания. На подобной схеме основываются рекомендации по определению необходимой глубины вскрытия потенциально рудоносной структуры в разных геоморфологических условиях [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Глико О. А., Демиденко А. М. Методика составления карт поверхностей выравнивания горных областей на примере Западного Забайкалья. — Геоморфология, 1976. № 4, с. 46.
2. Корина Н. А., Чичагов В. П. Поверхности выравнивания и коры выветривания в Центральном Забайкалье. — В кн.: Вопросы теоретической и прикладной геоморфологии. Чита: Забайкальский фил. геогр. о-ва СССР, 1969, вып. XXX, с. 58.
3. Хотина Е. Б. Основные этапы формирования рельефа Западного Забайкалья. — Тез. докл. Второй научн. конф. геол. секции Забайкальское отд. геогр. о-ва СССР. Чита, 1965.
4. Карта поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР м-ба 1 : 2 500 000. Л.: Недра, 1972.
5. Милеева Л. С. Возраст исходной поверхности выравнивания горного пояса Сибири. — В кн.: Поверхности выравнивания гор Сибири. Новосибирск: Наука, 1971, с. 50.
6. Тулохонов А. К. Геоморфологические циклы развития Восточного Забайкалья. — Геоморфология, 1981, № 1, с. 103.
7. Тимофеев Д. А. Поверхности выравнивания суши. М.: Наука, 1979. 269 с.
8. Глико О. А. Определение глубины бурения при поисках скрытых месторождений. — Разведка и охрана недр, 1972, № 8, с. 12.

ON THE QUANTITATIVE ANALYSIS OF PLANATION SURFACES (A CASE OF WESTERN TRANSBAIKALIAN REGION)

GLIKO O. A

Summary

Statistical technique permits reliable determination of modal levels of the planation surfaces using a graph of distribution of altitudes general population. The altitudes distribution frequency within longitudinal geomorphological zones together with variation curves analysis allows to distinguish features of structure and changes in the planation surfaces evolution. Two stages can be distinguished during 150 million years of evolution. The first accomplished stage, about 113 million years long, ends with peneplainization, the second stage (37 million years) is still at its ascending phase which is manifested in constant uplift amplitudes and accelerated cyclic development. Unambiguous identification of the planation surfaces will permit to apply them on a broader scale to the paleo-geomorphological analysis and to practical task, i. e. to estimate the depth of erosional downcutting into ore-bearing structures within large region of Meso-Cenozoic mineralization.