

**АНОМАЛИИ СКОРОСТЕЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ПРИАМУРЬЯ И РАЗМЕЩЕНИЕ  
ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ****М.Ю. Носырев***Федеральное государственное унитарное геологическое предприятие “Амургеология”, г. Благовещенск*

Рассмотрены аномалии отношений скорости продольных волн к скорости поперечных волн в земной коре Приамурья по данным профилей МОВЗ-ГСЗ. Установлена пространственная связь золоторудных районов и отдельных месторождений с областями аномальных скоростных характеристик в земной коре. Высказано предположение, что данные аномалии фиксируют блоки земной коры с высокой тектонической нарушенностью, которые могли служить каналами тепломассопереноса на этапе рудообразования.

**Ключевые слова:** продольные и поперечные сейсмические волны, земная кора, золотое оруденение, Приамурье.

**ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы возрос интерес к результатам изучения рудных районов различной специализации глубинными сейсмическими методами и к выделению соответствующих критериев прогнозирования оруденения. Это связано и с общим увеличением числа сейсмических профилей, и с целенаправленным изучением некоторых рудных районов сейсмическими методами, и с совершенствованием методики обработки измерений. Результаты сейсмического изучения рудных районов дают зачастую совершенно новую информацию о строении земной коры и верхней мантии, не получаемую по гравиметрическим и магнитометрическим данным. Поэтому сейсмические признаки контроля эндогенного оруденения приобретают все большую значимость, и их использование при мелкомасштабном прогнозировании становится все более актуальным. Сейсмические признаки контроля эндогенного оруденения можно разделить на две большие группы.

1. Структурно-морфологические, определяющие наличие, глубину, форму отдельных сейсмических границ. В первую очередь речь идет о границе М, поведение которой под рудными районами характеризуется появлением прогибов, поднятий, уступов различной амплитуды [1, 7].

2. Скоростные признаки, характеризующие вещественный состав и состояние коры и мантии. Скоростные аномалии отмечаются под рудными района-

ми на разных глубинах: в верхней мантии, нижней части коры, верхней коре. В рассмотрение берутся скорости продольных волн ( $V_p$ ), реже – поперечных ( $V_s$ ). Очень часто в качестве важного признака, особенно для средней и верхней частей земной коры, принимается отношение  $V_p/V_s$  (или в некоторых случаях коэффициент Пуассона).

Отношение скорости продольных к скорости поперечных волн всеми исследователями, занимающимися данным вопросом, относится к числу наиболее информативных параметров, аномалии которого фиксируются на уровне средней части коры (10–30 км) под многими рудными районами. Так, отмечается [1], что для блоков с выявленным оруденением литофильно-халькофильного профиля (в том числе и золотого) характерны аномальные зоны с пониженными значениями  $V_p/V_s$ , равными 1,58–1,69, для районов с оруденением сидерофильного профиля наблюдается устойчивое повышение  $V_p/V_s$  до 1,82–1,92.

Следовательно, важность рассмотрения скоростных характеристик земной коры для регионов с той или иной эндогенной минерализацией не вызывает сомнений. Золото является главным промышленно значимым полезным ископаемым Верхнего Приамурья. Поэтому представляется актуальным рассмотреть для этой территории вопрос о пространственной взаимосвязи золоторудных площадей и распределения в земной коре скоростей продольных и поперечных волн и их отношения.

### СКОРОСТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ

Сейсмическая изученность Верхнего Приамурья на сегодняшний день остается невысокой, и распределение скоростей в земной коре территории Верхнего Приамурья имеется по данным двух источников.

Во-первых, здесь проходят два профиля МОВЗ-ГСЗ, для которых на всю мощность земной коры определены значения продольных и поперечных волн и, соответственно, значение отношения скоростей: профиль г. Тынды–п. Амурзет [5] и фрагмент профиля г. Рубцовск–мыс Невельского. Однако эти профили пересекают ограниченное количество золоторудных районов и, с этой точки зрения, не могут дать достаточную информацию для полноценного анализа связи золоторудных узлов с сейсмическими особенностями территории.

Вместе с тем, в течение второй половины 70–80-х годов в Приамурье интенсивно развивалась сеть сейсмологических станций, что позволило с 1981 года фиксировать сейсмические события не менее чем тремя станциями. Это, в свою очередь, одновременно с развитием средств обработки, дало возможность углубленного изучения скоростных характеристик коры и пространственной локализации их аномалий в регионе на основе записи землетрясений разных классов. Так, в работе [6] изложены данные изучения скоростных неоднородностей коры ( $V_s$ ,  $V_p/V_s$ ) для Приамурского региона, выявлена их соответствующая пространственная локализация. Исходными данными послужили результаты статистической обработки значений  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$ . При этом скорости определялись не менее чем по четырем станциям, а их отношения – по трем. В статистическую обработку было, по данным авторов, вовлечено:  $V_p$  – 46 наблюдений,  $V_s$  – 241 наблюдение,  $V_p/V_s$  – 378 наблюдений. Средние значения  $V_p$  для землетрясений разных классов колебались

от 6,12 км/с до 6,18 км/с,  $V_s$  – от 3,53 до 3,60 км/с,  $V_p/V_s$  – от 1,72 до 1,74. При этом не выявлены какие-либо зависимости скоростных параметров от класса землетрясений. Затем было выполнено картирование значений скоростных параметров по площади Приамурья с осреднением в статистическом окне  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , размер которого согласуется как с ошибками определения координат эпицентров землетрясений по региону, так и с плотностью распределения эпицентров по площади.

Таким образом, в результате этой работы на территории Верхнего Приамурья был выявлен и локализован ряд зон с аномальными значениями  $V_s$  и  $V_p/V_s$  [6]. Эти данные показаны на рис.1. Для  $V_p$  такая работа не была выполнена по причине малого числа наблюдений, т.е. недостаточно статистически представительного материала.

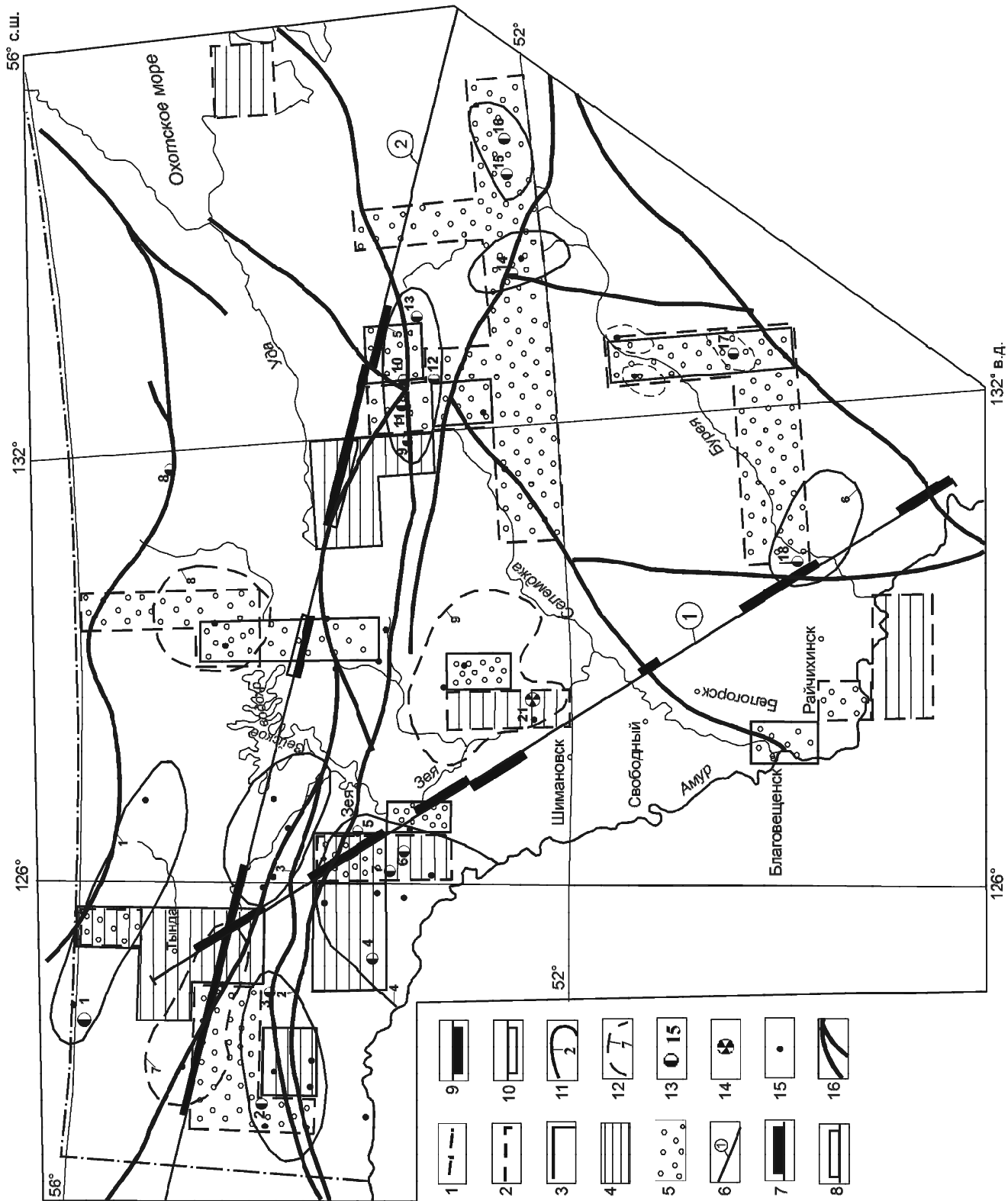
Учитывая преобладающую глубинность землетрясений в регионе до уровня 25 км, можно считать, что в данном случае мы имеем интегральные скоростные характеристики коры примерно в этом интервале глубин. Данный материал равномерно характеризует всю площадь Приамурья, что является его большим достоинством и позволяет изучить пространственное соотношение скоростных аномалий с золотоносностью территории. Однако достоверность его, безусловно, меньше, чем по профилям МОВЗ-ГСЗ.

Поэтому представляется возможность сопоставить данные об отношении скоростей, полученные разными методами, определить достоверность данных, полученных по наблюдению землетрясений, и затем, используя все имеющиеся материалы, проанализировать положение золотоносных площадей и отдельных месторождений относительно распределения в земной коре значений скоростей продольных и поперечных волн и их отношения.

Это отношение в земной коре рассматриваемого региона колеблется в широких пределах от 1.53 до 1.90. При этом, проведенный анализ не выявил ка-

**Рис. 1.** Сводная карта скоростных неоднородностей земной коры Приамурья с данными золотоносности.

1 – граница изученной площади. Аномальные зоны скоростных параметров, по [6]: 2 –  $V_p/V_s$ ; 3 –  $V_s$ . Знак аномалии: 4 – положительный, 5 – отрицательный. 6 – Профили МОВЗ-ГСЗ (1 – г. Тынды–пос. Амурзет, 2 – г. Рубцовск–м. Невельского). Проекция на поверхность аномальных зон  $V_p/V_s$  до глубины 20–25 км по профилям МОВЗ-ГСЗ: 7 – минимумы, 8 – максимумы. Аномальные зоны  $V_s$ : 9 – минимумы, 10 – максимумы. Золотоносные районы, по Мельникову В.Д., Полеванову В.П.: 11 – с наличием значимой коренной золотоносности (1 – Верхнегилюйский, 2 – Верхнеамурский, 3 – Дамбукинский, 4 – Гонжинский, 5 – Верхнеселемджинский, 6 – Малохинганский); 12 – с признаками коренной золотоносности (7 – Среднеюжнинский, 8 – Верхнезейский, 9 – Зее-Селемджинский); 13 – месторождения золота (1 – Бамское, 2 – Березитовое, 3 – Кировское, 4 – Буриндинское, 5 – Боргуликанское, 6 – Покровское, 7 – Пионер, 8 – Колчеданный Утес, 9 – Маломыр, 10 – Токур, 11 – Ворошиловское, 12 – Сагурское, 13 – Унгличанское, 14 – рудные объекты Софийского рудного поля, 15 – Токоланское, 16 – Кербинское, 17 – Нони, 18 – Прогнозное). 14 – Чагойанское полиметаллическое месторождение, 15 – рудопроявления золота, 16 – зоны разломов глубокого заложения.



кой-либо зависимости данного параметра от глубины залегания характеризуемого блока.

Рассмотрим данные сейсмических профилей в двух аспектах: подтверждаемость выделенных по данным [6] аномальных зон и зависимость аномалий отношения от изменения продольной или поперечной скорости.

Сейсмическими профилями пересекается четыре аномальные области пониженных отношений  $V_p/V_s$ , показанные на рис. 1. Из них не подтверждается только одна, расположенная в самых верховьях р. Селемджи и имеющая меридиональную ориентировку. Остальные понижения достаточно отчетливо фиксируются по профилям на глубинах до 22 км. Как правило, по латерали они несколько превышают выделенные на рис. 1 области и часто попадают также в пределы сопряженных зон повышенных значений  $V_s$ . Надо заметить, что на профилях на разных глубинах фиксируются и другие области понижения отношения скоростей, которые не коррелируются с зонами, полученными по наблюдениям за землетрясениями. Так, в частности, на профиле Тында–Амурзет на глубинах около 20 км выделяется протяженная пологая зона пониженных значений отношения скоростей (1.63–1.66) мощностью в несколько километров [5], или на другом профиле под Верхнезейской впадиной на глубинах свыше 20 км и практически до границы Мохо выделяется целая серия блоков с пониженными значениями отношения. Но они не находят отражения на схеме, по данным [6]. Очевидно, можно говорить, что по данным наблюдений землетрясений фиксируются достаточно масштабные аномальные области до глубин порядка 20 км со значительной (10–15 и более километров) вертикальной мощностью. Интересно, что в этих областях опускается нижняя граница неоднородностей, появляются аномальные блоки в низах коры на границе Мохо, и в целом можно говорить о тенденции появления здесь сквозькоровых аномальных зон пониженного отношения скоростей (рис. 2).

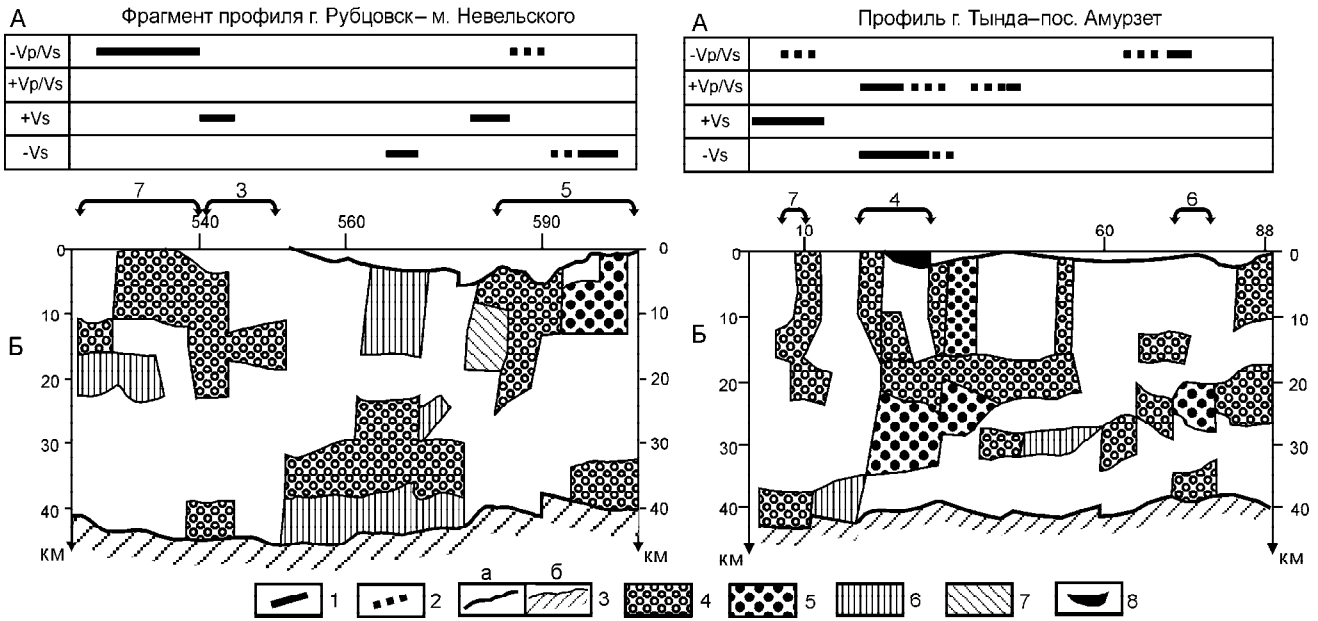
Области повышенных значений отношения скоростей дважды пересекаются профилем Тында–Амурзет. Здесь нет столь определенного совпадения, как для предыдущего типа аномалий. Первая аномалия повышенного отношения, охватывающая восточную часть Гонжинского золоторудного района, не характеризуется явно выраженным повышением отношения в земной коре. Более того, в ее северной части в консолидированной земной коре выделяется по профилю узкая зона пониженных значений отношения скоростей (рис. 1, 2). При этом надо отметить,

что с поверхности до глубины 4 км в вулканогенно-осадочном чехле здесь выделяется блок со значением отношения 1.96. (рис. 2). Возможно, верхняя часть коры и определила наличие аномалии по данным [6], одновременно скомпенсировав возможное проявление узкой зоны пониженного отношения скоростей. Вместе с тем, на глубинах 20–30 км и к югу от аномалии (рис. 2) здесь выделяется область пониженных значений  $V_s$ , что также могло повлиять на отношение скоростей, полученных по данным обработки землетрясений, учитывая интегральный, без привязки по глубине характер аномалии. Вторая подобная аномалия субмеридиональной ориентировки в районе г. Шимановска касается профиля лишь самой крайней юго-западной частью. Яркое выраженного повышения отношения скоростей здесь на профиле не наблюдается, хотя небольшое относительное повышение в верхней части коры до 1.78 имеет место. Вместе с тем, к западу от аномальной области на профиле отчетливо проявлена субвертикальная система блоков с аномально низкой  $V_s$ , что может определять и повышение отношения.

Поскольку по данным [6] в качестве самостоятельного типа скоростных неоднородностей выделены области понижения  $V_s$ , не сопровождающиеся изменением отношения  $V_p/V_s$ , рассмотрим, как они характеризуются по данным МОБЗ-ГСЗ. Как правило, все эти области подтверждаются данными сейсмических профилей. При этом можно выделить несколько типов блоков с понижением  $V_s$ :

1. Часть минимумов  $V_s$ , по [6], достаточно отчетливо совпадает с таковыми по данным ГСЗ на глубинах до 10–15 км, и при этом отношение скоростей действительно не меняется. В частности, в верховьях реки Селемджи (район месторождения Токур) выделяется большой минимум  $V_s$ . При этом на профиле ГСЗ под ним в верхней части консолидированной земной коры до глубины 12 км отмечаются блоки с падением скорости поперечных волн на величину до 0.5 км/с без изменения отношения скоростей (т.е. происходит и соответствующее уменьшение скорости продольных волн).

2. Чаше минимумы  $V_s$  совпадают с участками резкого понижения по профилям  $V_s$  в верхней коре с одновременным повышением отношения скоростей. Однако, по [6], эти одновременные повышения отношения не фиксируются. Возможно, это связано с точностью определения параметра, большей сложностью определения  $V_p$  и возможной “компенсацией” блоками пониженных отношений скоростей при интегральном способе обработки. Часто такие участки



**Рис. 2.** Распределение блоков с аномальными скоростными характеристиками по профилям МОБ3-ГСЗ. А – скоростные неоднородности, по [ 6 ]: 1 – пересечение профилем скоростной аномалии; 2 – проекция на профиль скоростной аномалии при расстоянии от аномалии до профиля не более 50 км. Б – сейсмические разрезы: 3 – основные сейсмические границы: а – поверхность консолидированной земной коры, б – граница Мохоровичича; 4 – понижение  $V_p/V_s$  ( $-V_p/V_s$ ); 5 – понижение  $V_s$  ( $-V_s$ ); 6 – повышение  $V_p/V_s$  ( $+V_p/V_s$ ); 7 – повышение  $V_s$  ( $+V_s$ ); 8 – локальное повышение  $V_p/V_s$  в верхней части земной коры. Скобками показаны золотоносные районы, номера соответствуют рис. 1.

пространственно примыкают к областям повышенного отношения скоростей по тем же данным.

3. По данным [6], выделяется еще один чрезвычайно интересный тип понижений  $V_s$ , когда они пространственно совпадают с понижением отношения скоростей. К сожалению, профили МОБ3-ГСЗ не пересекают ни одну такую область, поэтому подтвердить или опровергнуть их наличие независимыми данными не представляется возможным. Но, учитывая в целом хорошую сходимость результатов по другим типам скоростных неоднородностей, можно полагать, что такие скоростные неоднородности также имеют место в земной коре Приамурья. Это значит, что в таких областях отмечается одновременное уменьшение и  $V_p$ , и  $V_s$ , причем первый параметр уменьшается в значительно большей степени по сравнению со вторым.

Значительную часть на схеме занимают области повышенных значений  $V_s$ , где не наблюдается изменение отношения скоростей, что предполагает одновременное и пропорциональное возрастание скорости  $V_p$ . Такие обстановки дважды пересечены профилем г. Рубцовск–мыс Невельского и один раз – профилем г. Тынды–п. Амурзет (рис. 1). Результаты анализа показывают, что в пределах этих областей по

данным профилей действительно наблюдается небольшой рост  $V_s$ , но он всегда сопровождается уменьшением отношения  $V_p/V_s$ , причем изменение  $V_p$  вносит, как правило, больший вклад в изменение отношения. Нельзя говорить о полном совпадении областей повышения  $V_s$ , по данным [6], и уменьшения отношения скоростей по данным сейсмических профилей в верхней и средней коре, но большая часть положительных аномалий  $V_s$  определенно характеризуется понижением отношения до глубин 20–25 км, причем наиболее интенсивное понижение отношения отмечается на границе аномальных областей  $V_s$ . Отметим также, что в пределах рассматриваемого региона ни по одному из профилей нами не выявлено блоков, где бы наблюдался отчетливый рост  $V_s$  без изменения отношения скоростей. То есть все повышения  $V_s$  (рис. 1) отмечаются понижением отношения скоростей при росте скорости поперечных волн. Поэтому наличие в земной коре Приамурья скоростных неоднородностей такого типа пока не подтверждается имеющимися данными. Возможно, причина того, что не было зафиксировано одновременное понижение отношения скоростей, связана с методикой наблюдения и обработки, а может быть с “компенсацией” отношения рядом расположенными

блоками с повышенными его значениями. На данном этапе изучения нужно признать, что области с повышенным значением  $V_s$ , по данным [6], наиболее вероятно характеризуются пониженным значением отношения скоростей, которое не зафиксировано по данным обработки записей землетрясений. За это говорит и тот факт, что пространственно они сопряжены и как бы “обрамляют” области аномально низкого отношения скоростей. Возможно также, что здесь рост  $V_s$  вносит большой вклад в изменение отношения, нежели  $V_p$ , а уменьшение отношения – незначительное.

Таким образом, нужно отметить, что в целом выделенные по обработке записей землетрясений аномальные зоны действительно характеризуются усложнением распределения скоростей в земной коре и повышенной аномальностью как собственно скоростей, так и их отношения по данным МОВЗ-ГСЗ. Всего проанализировано подтверждение на сейсмических профилях (до глубин 20–25 км) 12 аномальных областей. Только две из них не находят адекватного отражения на профилях. С другой стороны, только одна масштабная аномалия в верхней части коры, зафиксированная сейсмическим профилем, не отразилась в данных обработки землетрясений (рис. 2). Таким образом, сходимость данных по аномальным скоростным зонам в земной коре, полученных по обработке записей землетрясений и по данным профилей МОВЗ-ГСЗ, удовлетворительная и, следовательно, правомерно использовать имеющиеся площадные данные для анализа связи с ними золоторудных объектов. При этом надо учитывать следующее.

1. Достаточно сильную генерализацию площадных скоростных характеристик.
2. Наиболее устойчивое выделение аномалий пониженного отношения скоростей.
3. Высокую вероятность того, что области повышений  $V_s$ , по [6], могут рассматриваться как области слабого понижения отношения скоростей, особенно если они примыкают к последним.
4. Возможность в ряде случаев рассмотрения областей понижения  $V_s$  как имеющих повышенные значения отношения.

#### **АНАЛИЗ СВЯЗИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ СО СКОРОСТНЫМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**

В анализ были вовлечены основные золоторудные районы, иногда отдельные золоторудные узлы Амурской области и западной части Хабаровского края, а также золоторудные месторождения и ряд наиболее значимых рудопоявлений в их пределах.

Несколько сближенных рудопоявлений рассматривались при этом как одна точка.

Два рассматриваемых сейсмических профиля частично пересекают золоторудные районы или проходят в непосредственной близости от них, что позволяет в первом приближении установить связь золотоносности со скоростными аномалиями земной коры по данным сейсмического зондирования. Профиль Тынды–Амурзет в своей северной части пересекает Джелтулакскую зону разломов, вдоль которой на несколько сотен километров в северо-западном направлении протягивается целая серия мелких месторождений и проявлений золотой минерализации (Успенское, Талга, Иличи, Балдыглия, Беленькая и др.). Этой полосе соответствует понижение отношения скоростей, прослеживаемое с поверхности до глубины 23 км, причем собственно разлому отвечает узкая (около 30 км) вертикальная зона максимального понижения отношения скоростей до 1.62. Далее на юг профиль пересекает один из наиболее продуктивных золоторудных районов рассматриваемой территории – Гонжинский. Ему отвечает ярко проявленная отрицательная аномалия отношения скоростей, развитая до глубины 23 км, в пределы которой попадают и основные золоторудные месторождения района. Расположенный на южной оконечности профиля и менее продуктивный Малохинганский район также характеризуется понижением отношения скоростей на глубине от 12 км и глубже, тяготея к краевой части данной неоднородности (рис. 2).

Второй профиль менее удачно пересекает золоторудные районы. Западная его часть идет вдоль Джелтулакского разлома и фиксирует то же понижение скоростей, что и предыдущий профиль. В восточной части данный профиль проходит в нескольких десятках километров севернее Верхнеселемджинского золоторудного района и достаточно отчетливо фиксирует его набором различных скоростных аномалий в верхней и средней коре, в первую очередь аномальным понижением отношения скоростей.

Однако основной и статистически значимый материал получен из анализа карты скоростных неоднородностей земной коры, по [6], и золотоносности (рис. 1). При анализе выяснялось наличие пространственной связи золоторудных объектов с аномалиями скоростей и их отношений. При этом для точечных объектов принималось, что связь существует, если он попадает или в контур скоростной аномалии, или находится в непосредственной близости от ее границы (не более 20 км). Во всех иных случаях считалось, что золоторудный объект связи со скоростной аномалией не имеет. Для районов и узлов анализировалось их пространственное совпадение со ско-

ростными аномалиями. При этом считалось, что если более 50 % их площади совпадает, то связь существует, 30–50 % – возможная слабая связь, совпадение менее 30 % значило отсутствие связи.

Первый вывод, следующий из анализа, состоит в том, что наблюдается весьма тесная пространственная связь золоторудных районов, узлов и аномалий скоростей сейсмических волн и их отношений в земной коре. Практически все районы, за исключением Дамбукинского, большей своей частью лежат в пределах скоростных неоднородностей. Но и для этого района его западная, наиболее продуктивная часть, по данным профиля, находится вблизи понижения отношения скоростей. При этом отметим, что площадь аномалий скоростей и отношения составляет не более 30% всей изученной территории, что еще более подчеркивает наличие их тесной пространственной связи с золоторудными районами и узлами.

Рассматривая соотношение золотоносных площадей с типом скоростных неоднородностей, отметим, что рудные районы охватывают площади, включающие разнообразные аномальные скоростные зоны, как правило, совмещенные области пониженных значений  $V_p/V_s$  с областями повышенных значений  $V_s$ . То есть можно говорить об устойчивой пространственной связи золотоносных площадей и областей с аномально низким отношением скоростей.

Для более определенного решения вопроса о связи золоторудной минерализации с типом скоростных неоднородностей нами выбраны для анализа 18 месторождений, оруденение которых имеет наиболее вероятно мезозойский возраст. При этом сближенные месторождения брались как один объект. По результатам анализа 17 месторождений совпадают с аномальными скоростными зонами, а одно находится на расстоянии около 20 км от края аномальной зоны. Большинство (10 объектов), так или иначе, располагаются в краевых частях областей пониженного отношения  $V_p/V_s$  вблизи зон с повышенной  $V_s$ . Группа месторождений (Покровское, Пионер, Боргуликан) попадает в зону повышенного отношения скоростей. Два месторождения располагаются в зонах повышенных значений скорости поперечных волн в земной коре.

Кроме того, проанализировано положение 33 рудопроявлений и точек минерализации. Двадцать пять из этого числа совпадают со скоростными неоднородностями, тяготея, как правило, к их краевым частям. Наиболее частая позиция – расположение или в краевых частях областей пониженных значений отношения скоростей, или на краях областей  $V_s$  max. Только рудопроявления восточной части Гонжинского района расположены в зоне повышен-

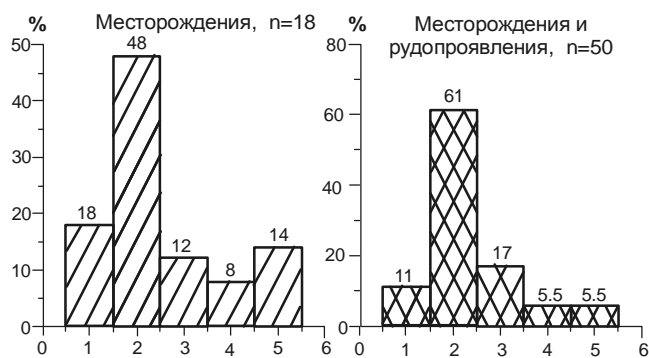


Рис. 3. Гистограммы распределения месторождений и рудопроявлений золота по типам скоростных неоднородностей земной коры.

1 – нет связи; 2 –  $-V_p/V_s$ ; 3 –  $+V_p/V_s$ ; 4 –  $+V_s$ ; 5 –  $-V_s$ .

ного отношения скоростей. Гистограммы, показывающие связь золоторудных объектов с типами скоростных аномалий, по [6], показаны на рис. 3.

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о достаточно устойчивой связи площадей с золотой минерализацией с областями, аномальными по отношению скорости продольных и поперечных волн в средней и верхней частях земной коры. Золоторудные районы достаточно тесно совпадают с такими областями и, как правило, содержат внутри себя крупные области пониженных значений отношения  $V_p/V_s$ , а если учесть полученную ранее закономерность, позволяющую предполагать, что области повышения  $V_s$  также должны характеризоваться понижением отношения, то эта закономерность становится еще более отчетливой. Золоторудные узлы также охватывают различные скоростные неоднородности, часто тяготея к их граничным частям, наиболее часто – к областям пониженного отношения скоростей. Золоторудные месторождения и рудопроявления в большинстве своем также локализируются в пределах областей пониженных значений  $V_p/V_s$ , часто попадая в их краевые части. В отдельных случаях, очевидно, золоторудные площади могут характеризоваться повышенным значением отношения, которое, однако, наименее устойчиво подтверждается данными по сейсмическим профилям и, возможно, действительно связано с несколькими верхними километрами разреза, влияние которых затушевывают расположенные ниже зоны понижения отношения скоростей.

В отдельных случаях золотоносные площади характеризуются аномально низкими значениями скорости поперечных волн в верхней коре, которые примыкают к областям как понижения, так и повышения отношения.

Рассмотрим возможную геологическую природу скоростных неоднородностей земной коры. Существуют два подхода к интерпретации подобных скоростных неоднородностей.

1. Вещественный подход. Известно, что отношение скоростей связано с содержанием кремнезема в изучаемой среде, в нашем случае – в земной коре [2–4], и при пониженных значениях  $V_p/V_s$  должна быть повышена концентрация кремнезема и наоборот. Таким образом, параметр  $V_p/V_s$  в рамках данной модели является показателем вещественного состава земной коры, соотношения в разрезе кислых и основных пород.

2. Структурный подход. Однако экспериментальные и теоретические данные показывают, что отношение скоростей весьма существенно зависит от пористости и трещиноватости среды и ее флюидо(водо)насыщенности. По многим оценкам эти характеристики состояния среды в существенно большей степени влияют на отношение скоростей, нежели вещественный фактор. Основные закономерности сводятся к следующему [2].

Для сухих, трещиноватых горных пород  $V_p/V_s$  всегда уменьшается по сравнению с менее трещиноватыми блоками, а для частично насыщенных (вода) пород увеличение плотности трещин всегда приводит к возрастанию отношения скоростей. Насыщение порово-трещинного пространства флюидами всегда приводит к увеличению  $V_p/V_s$  за счет более резкого роста  $V_p$  по сравнению с  $V_s$ . Отношение скоростей для газонасыщенных сред при сравнимой пустотности всегда меньше, чем для водонасыщенных пород. Таким образом, трещиноватость и пустотность земной коры с учетом флюидонасыщенности блоков являются одним из основных параметров, влияющих на отношение скоростей.

Рассматривая аномалии как высоких, так и низких значений отношения скоростей в земной коре по двум профилям, необходимо отметить, что они отличаются разным вкладом той или иной скорости в изменение отношения, т.е. в разных блоках продольные и поперечные волны меняются в разной степени. По обоим профилям достаточно отчетливо видно, что пониженное отношение скоростей в верхней части земной коры (до глубин 15–20 км) определяется главным образом существенным уменьшением  $V_p$  и, в меньшей мере, незначительным повышением  $V_s$  или совсем без ее изменения. В нижней части коры соотношение меняется на обратное: уменьшение отношения происходит преимущественно за счет роста  $V_s$ , при этом иногда уменьшается и  $V_p$ , но в гораздо меньшей степе-

ни. В средней части коры изменяются оба параметра, но в большей степени –  $V_s$ .

Повышение отношения скоростей с точки зрения вклада в это той или иной скорости более разнообразно. В нижней коре рост отношения в большинстве случаев происходит за счет преимущественного уменьшения  $V_s$ , изменения  $V_p$  вносят меньший вклад в увеличение отношения скоростей. В средней части коры влияние изменения скоростей (увеличение  $V_p$ , уменьшение  $V_s$ ) на повышение отношения скоростей примерно одинаково, а в некоторых случаях даже преобладает вклад скорости продольных волн. В верхней части консолидированной коры можно выделить разные ситуации: чаще это – преимущественный вклад уменьшения  $V_s$  в увеличение общего отношения скоростей при меньшем вкладе увеличения  $V_p$ , реже – наоборот, а в единичных случаях при увеличении отношения наблюдается рост как скорости продольных, так и поперечных волн, причем первой в существенно большей степени.

В рамках данной модели имеющиеся аномальные области можно интерпретировать следующим образом. Пониженные значения  $V_p/V_s$  фиксируют крупные блоки с относительно повышенной трещиноватостью, слабо водофлюидонасыщенные. То же самое, но с несколько большей флюидонасыщенностью, получается при наложении на пониженные значения отношения дополнительно понижений  $V_s$ .

Повышенные значения  $V_p/V_s$  фиксируют аномально трещиноватые, сильно флюидонасыщенные блоки земной коры, точно так же, как и зоны пониженных значений  $V_s$ .

Области аномально высоких значений  $V_s$  при нормальном отношении скоростей могут возникать в случае одновременного и пропорционального возрастания  $V_p$ . Имеющиеся данные не позволяют пока выделить в качестве самостоятельного этот тип скоростных неоднородностей. Однако если все же допустить подобное изменение скоростей, то, по имеющимся представлениям, это может быть связано с различным характером трещинной пустотности блоков. Поперечные размеры трещин оказывают существенное влияние на изменение скоростей. Более крупные трещины в большей степени понижают  $V_p$ , тогда как наличие объемной микротрещиноватости с мелкими трещинами в первую очередь сказывается на  $V_s$ . Поэтому можно предположить, что аномальные повышения  $V_s$ , по данным [6], присущи блокам с широко развитой объемной микротрещиноватостью. В противоположность этому в блоках с ярко выраженным понижением отношения скоростей преимущественно за счет падения  $V_p$  характер трещиноватости



другой, преобладающее значение здесь имеют более крупные трещины, и общая пустотность таких блоков выше. Можно также предположить, что и проницаемость таких блоков должна быть выше, нежели в блоках с преимущественным наличием микротрещиноватости.

В реальной ситуации, скорей всего, возможен вклад обоих факторов (вещественный и структурный), и аномально низкие отношения скоростей могут дополнительно указывать на наличие в этих областях крупных масс гранитоидов, точно так же, как повышенные отношения могут в определенной степени отвечать блокам, насыщенным породами с относительно пониженным содержанием кремнезема. Однако, по нашему мнению, структурный фактор для верхней коры является определяющим, и при объяснении позиции золотого оруденения автор придерживается в первую очередь структурной модели, поскольку влияние трещиноватости и пористости наиболее сказывается на скоростях.

#### ВЫВОДЫ

Безусловно, не может быть полного совпадения контуров скоростных неоднородностей и золоторудных площадей по ряду причин (ограниченность наблюдений, осреднение скоростных параметров, прямоугольные границы выделяемых неоднородностей). Но, тем не менее, можно определенно заключить, что площади, вмещающие золоторудные объекты, попадают в контуры скоростных неоднородностей земной коры. Можно предположить, что основную роль в размещении золоторудной минерализации играют участки земной коры с аномально высокой тектонической нарушенностью. При этом идет речь об объемной нарушенности блоков, распространенной до больших глубин. Все основные золоторудные районы на рассмотренной территории характеризуются наличием таких блоков. Они имеют размеры в попе-

речнике от 40 до 80 км и достаточно определенно контролируют размещение золоторудных объектов внутри районов. Значительное число месторождений и рудопроявлений попадает в их краевые части, на границы с менее нарушенными блоками или на границы блоков с изменением характера трещин и проницаемости разреза.

Эти области рассматриваются нами как реликты проницаемых зон, служивших каналами тепломассопереноса на этапе формирования месторождений. Они могли контролировать и перемещение магматических расплавов.

Выявленная закономерность в комплексе с другими геолого-геофизическими данными может быть использована для прогнозирования площадей, перспективных на обнаружение новых золоторудных объектов, и постановки поисковых работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булин Н.К., Солодилов Л.Н. Глубинный контроль эндогенного оруденения по сейсмическим данным / Региональная геология и металлогения. С.Пб: ВСЕГЕИ, 1994. № 2, С. 26–41.
2. Быков В.Г. Отношение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн и физико-механические свойства пород // Тихоокеан. геология. 1994. № 1. С. 103–115
3. Глубинное строение территории СССР. М.: Наука, 1991. 234 с.
4. Егоркин А.В. Содержание кремнезема в консолидированной коре территории России // Разведка и охрана недр. 2000. № 2. С. 15–17.
5. Золотов Е. Е., Ракилов В. А. Структура литосферы Приамурья по данным МОВЗ-ГСЗ // Региональная геология и металлогения. 2000. № 10. С. 94–97.
6. Нагорных Т.В., Поплавская Л.Н. Локализация аномалий поля скоростных характеристик среды в регионе Приморья и Приамурья // Сейсмические наблюдения на Дальнем Востоке СССР. М.: Наука, 1989. С. 92–106.
7. Суворов В.Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутской кимберлитовой провинции. Новосибирск: Наука, 1993. 136 с.

Поступила в редакцию 17 мая 2005 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

*M. Yu. Nosyrev*

#### **Velocity anomalies in the Earth's crust of Priamurye, and distribution of gold ore mineralization**

The anomalies of the velocity ratio of P waves in the Earth's crust and S waves in the Amur Region and western part of the Khabarovsk Territory are considered. Spatial relationships have been established between the gold ore districts and individual deposits, and the areas of anomalous velocity characteristics in the Earth's crust. It has been inferred that the anomaly data register blocks of the Earth's crust with a high degree of tectonic disturbance; these blocks could serve as channels of heat and mass transfer at the stage of ore formation.

**Key words:** P and S seismic waves, Earth's crust, gold mineralization, Priamurye.