

По мнению академика Р.Х. Муслимова — одного из инициаторов Программы изучения глубинных недр республики: «...Изучая геологическое строение фундамента, мы облегчаем поиски нефти в выше-лежащих отложениях. Можно сказать, что познание фундамента — ключ к поискам нефти в осадочном чехле» [7].

Для этого наряду с традиционными методами поисков нефтяных залежей в осадочном чехле в соответствии с антиклинальной теорией необходимо привлекать и нестандартные подходы к выделению перспективных площадей на нефть и газ. Одним из таких направлений может быть формационный анализ петрографо-геохимических материалов глубокого бурения по фундаменту в сочетании с интерпретацией распределения геофизических полей. Задачей данных исследований должно стать изучение геологического строения фундамента с целью выявления региональной зависимости нефтеносности осадочного чехла от фундамента, а также установление «реальных» локальных факторов контроля, которыми могут являться сравнительно небольшие по размерам гранито-гнейсовые купола, массивы гомогенных гранитов и (или) тела гипербазитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшков, Е.В. Основные типы и механизмы образования структур на литосферных плитах. Статья 1. Континентальные платформы / Е.В. Артюшков, А.Е. Шлезингер, А.Л. Яншин. // Бюл. МОИП. Отдел геол. — 1979. — Т. 54. — Вып. 2. — С. 8–30.

2. Бибикина, Е.В. Уран-свинцовый возраст чарнокитов Волго-Уральской области. Докл. АН СССР / Е.В. Бибикина, С.В. Богданова, Т.И. Кирнозова, Л.П. Попова. — 1984. — Т. 276. — № 4.
3. Гатиятуллин, Н.С. Формации фундамента Южно-Татарского свода и их роль при оценке нефтеносности осадочного чехла (на примере формационного расчленения разреза докембрийских толщ, вскрытых сверхглубокой скв. 20009-Новоелховской) / Н.С. Гатиятуллин, А.Р. Баратов. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений — 2004. — № 11(12). — С. 29–36.
4. Добрецов, Н.Л. Введение в глобальную петрологию / Н.Л. Добрецов. — Новосибирск: Наука, 1980. — 199 с.
5. Добрецов, Н.Л. Принципы выделения и классификации метаморфических формаций и задачи формационных исследований. Метаморфические формации (принципы выделения и классификации) // Тр. Ин-та Геологии и Геофизики СО АН СССР / Н.Л. Добрецов. Вып. 488. — Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1981. — С. 6–19.
6. Доплатформенные комплексы нефтегазоносных территорий СССР / Под ред. В.С. Князева, Т.А. Лапинской. — М.: Недра, 1992. — 305 с.
7. Муслимов Р.Х. Потенциал фундамента нефтегазоносных бассейнов — резерв пополнения ресурсов углеводородного сырья в XXI веке / Р.Х. Муслимов // Георесурсы. — 2003-4 (12). — С. 2–5.
8. Попов, Н.В. Петрология полихронных плутонов / Н.В. Попов, Г.Л. Добрецов. — Новосибирск: Наука, 1982. — С. 131.
9. Поспелов, Г.Л. О месте магматизма в энергостокковых геодинамических системах // Тр. Ин-та Геологии и Геофизики СО АН СССР / Г.Л. Поспелов. — Вып. 213. — Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1973. — С. 290–308.
10. Хаин, В.Е. Расслоенность Земли и многоярусная конвекция как основа подлинно глобальной геодинамической модели / В.Е. Хаин // ДАН СССР. — Т. 308. — № 6. — 1989. — С. 1437–1440.

© Гатиятуллин Н.С., Баратов А.Р., Гатиятуллин Р.Н., 2021

Гатиятуллин Накип Салахович // gatiyatullin@gkz-rf.ru
Баратов Азиз Рауфович // tgru@tatneft.ru
Гатиятуллин Рамиль Накипович // ramil@kazan.ru

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.814 528.77 528.871 528.88 (571.63 1-925.16)

Абушкевич С.А., Арестова Т.А. (ООО «Лаборатория дистанционного прогнозирования месторождений полезных ископаемых»), Волин К.А. (Санкт-Петербургский государственный университет), ИНоЗ (Институт наук о Земле), Липилин Д.А. (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина»)

ОСОБЕННОСТИ ДЕШИФРИРОВАНИЯ НАДВИГОВО-СКЛАДЧАТЫХ СТРУКТУР В ЗАЛЕСЕННЫХ РАЙОНАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ И ПРИМОРЬЯ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Надвиго-складчатые структуры в залесенных районах Прибайкалья и Приморья выявлены в ходе структурно-тектонического дешифрирования материалов ДЗЗ с использованием спектральных каналов многоканального

космического спутника Landsat и рассчитанных вегетационных индексов NDVI, NDWI. Впервые в описываемых районах с высокой степенью достоверности выявлены надвиговые структуры с южным и восточным падением плоскостей сместителя. **Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, Landsat, залесенный район, спектральные аномалии, NDVI, NDWI, дешифрирование, надвиги, складчатость.

Abushkevich S.A., Arestova T.A. (Laboratory for remote forecasting of mineral deposits), Volin K.A. (St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences), Lipilin D.A. (Kuban State University, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin)

INTERPRETATION FEATURES OF THRUST-FOLDED STRUCTURES IN THE AFFORESTED AREAS OF THE BAIKALIA AND PRIMORSKY REGION BASED ON REMOTE SENSING

Thrust-folded structures were identified in the afforested areas by means of structural and tectonic interpretation of remote sensing data using data of spectral bands of the multi-spectral

satellite Landsat and calculated vegetation indices NDVI, NDWI. Thrust-folded structures with a Southern and Eastern dip of the thrust surface planes were first identified with a high degree of reliability. Keywords: Earth remote sensing, Landsat, afforested area, spectral anomalies, NDVI, NDWI, interpretation, thrust, folding.

Введение

В статье показана принципиальная возможность дешифрирования складчато-надвиговых структур в залесенных районах по материалам космических съемок на примере территории Прибайкалья и Приморья. Представлены результаты космоструктурного и космоспектрального дешифрирования складчато-надвиговых структур, заверенные полевыми наблюдениями на участке в Прибайкалье. Результаты в дальнейшем могут быть использованы при составлении геологических карт и в ходе поисков полезных ископаемых.

Для космоструктурного и космоспектрального дешифрирования материалов космических съемок использовались разносезонные многоспектральные данные космической съемочной системы Landsat ETM+ и космические снимки высокого разрешения спутников WorldView-2, 3. На основе этих данных проведены:

- структурно-тектонический анализ территории по RGB-композитам космических снимков;
- анализ спектральных характеристик растительного покрова по расчетным индексам NDWI¹ и NDVI (рис. 6–Б).

Основная часть

Крутопадающие разрывные нарушения, надвиги и складчатые структуры являются важными элементами анализа рудоперспективности изучаемого района; как следствие, структурно-тектоническому дешифрированию материалов космической съемки (МКС) уделяется особое внимание. Крутопадающие разрывные нарушения, как правило, отчетливо и с высокой степенью достоверности дешифрируются на космических снимках как в регионах с аридным климатом, для которых характерно отсутствие растительности, так и в регионах с гумидным климатом и обильной растительностью. Выявление же складчатых и складчато-надвиговых структур *в залесенных районах*

¹ NDWI. Нормализованный относительный индекс воды представляет собой спутниковый индекс, полученный от спутниковых каналов в ближней инфракрасной (NIR) области спектра и в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра. Отражение в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра фиксирует изменения как по содержанию воды в растительности, так и по губчатому строению мезофилла в растительном покрове, в то время как отражение в ближней инфракрасной (NIR) области спектра зависит от внутренней структуры листьев и содержания сухого вещества в листьях (но не содержания воды). Сочетание NIR с SWIR удаляет вариации, вызванные внутренней структурой листьев и содержанием сухого вещества в листьях, повышая точность в получении содержания воды в растительности. Количество воды, доступной во внутренней структуре листьев, в основном управляет коэффициентом спектрального отражения в интервале SWIR электромагнитного спектра. Следовательно, отражение в коротковолновой инфракрасной (SWIR) области спектра отрицательно связано с содержанием воды в листьях [5]. NDVI. Нормализованный относительный индекс интенсивности фотосинтеза.

представляет определенные трудности и не всегда является очевидным. Основной сложностью структурно-тектонического дешифрирования залесенных районов является недостаточная обнаженность поверхности Земли. В этом случае особую важность имеет подбор МКС с оптимальными для дешифрирования сложных территорий характеристиками, в частности, сезона съемки. В ходе работы были использованы МКС четырех сезонов съемки (зима, весна, лето и осень), однако наиболее благоприятными сезонами космической съемки для структурно-тектонического дешифрирования в закрытых растительностью районах оказались поздняя осень (ноябрь), зимнее время года (при небольшом снежном покрове) и ранняя весна. В северных районах — это март–апрель, в средней полосе России — февраль–март. Эти наблюдения относятся только к крупномасштабному дешифрированию. Для мелкомасштабного (1:1 000 000 и 1:500 000), а также среднемасштабного (1:200 000) дешифрирования сезон проведения космической съемки большого значения не имеет.

Изучаемые территории в Прибайкалье и Приморье рассматривались в масштабе 1:50 000 и крупнее в сочетании с обзорным дешифрированием масштаба 1:100 000 с использованием снимков среднего и высокого разрешения. Территория изучения — Прибайкалье (район г. Братск) и Приморский край (северо-восток Тернейского района). Результаты дешифрирования территории Прибайкалья подтверждены полевой заверкой, в ходе которой исследован карьер, в бортах которого четко выражена складчатость и надвигово-подвигиговые структуры (рис. 1, 2). Карьер расположен в центральной части изученной территории Прибайкалья и структуры, выявленные в ходе дешифрирования МКС, проходят через всю территорию карьера и вскрыты в его бортах. На территории Приморья рассмотрен участок с хорошо определяемыми на космическом снимке высокого разрешения зимнего сезона съемки складчато-надвиговыми структурами (рис. 3, 4, 7). Здесь дешифрирование складчато-надвиговых структур проводилось по аналогии с дешифрированием МКС на участке работ в Прибайкалье с использованием комплексной методики определения структурных элементов, нашедшей подтверждение в ходе полевых наземных наблюдений в Прибайкалье. Выявленная расчлененность рельефа участка на территории Приморья упростила идентификацию и интерпретацию отдельных структурных элементов, что позволило значительно уточнить структурно-тектонические характеристики. В частности, на схему нанесены шарьяжная и надвиговая структуры, а также сопровождающая их складчатость и крутопадающие разломы, не отраженные на существующих геологических картах. На рис. 7 сопоставлен фрагмент геологической карты масштаба 1:200 000 и структурно-тектоническая схема района, составленная по результатам дешифрирования МКС.

На рис. 6 для сопоставления тектонических структур, выделенных при дешифрировании, со структура-

ми на геологической карте, приведен фрагмент карты в районе г. Братск. Как видно, на этом фрагменте карты нет складчатости и практически нет разрывных нарушений, которые во множестве присутствуют на схеме дешифрирования, но в то же время тело габбро-долеритов, имеющее близкую к дугообразной форму, совпадает с внешними дугообразными разломами отдешифрированной нами кольцевой структуры, а вытянутое в СВ направлении тело этих же образований совпадает с зоной надвиговых структур. Далее приводятся некоторые подробности и выборочные аспекты методики дешифрирования и результаты интерпретации МКС.

Прибайкалье. В рамках данной работы для территории Прибайкалья проведено не только структурно-

тектоническое дешифрирование спутниковых данных, но и анализ спектральных характеристик растительного покрова по вегетативным индексам NDWI и NDVI (рис. 6-Б). Физические свойства пород различны, это влечет за собой отличия в характере трещиноватости, степени водонасыщенности и в химическом составе почв, что обуславливает различие растительного покрова для участков с отличающимися геологическими характеристиками и, напротив, его однородность для участков со схожими почвами, рельефом и гидрологическими особенностями. Таким образом, анализируя контуры аномалий растительных индексов NDWI и NDVI, можно определить не проявленные на космических снимках, скрытые растительностью, формы рельефа и геологические

структуры. Например, на описываемой территории ориентировка в определенном направлении однотипной растительности создает фоторисунок, под-

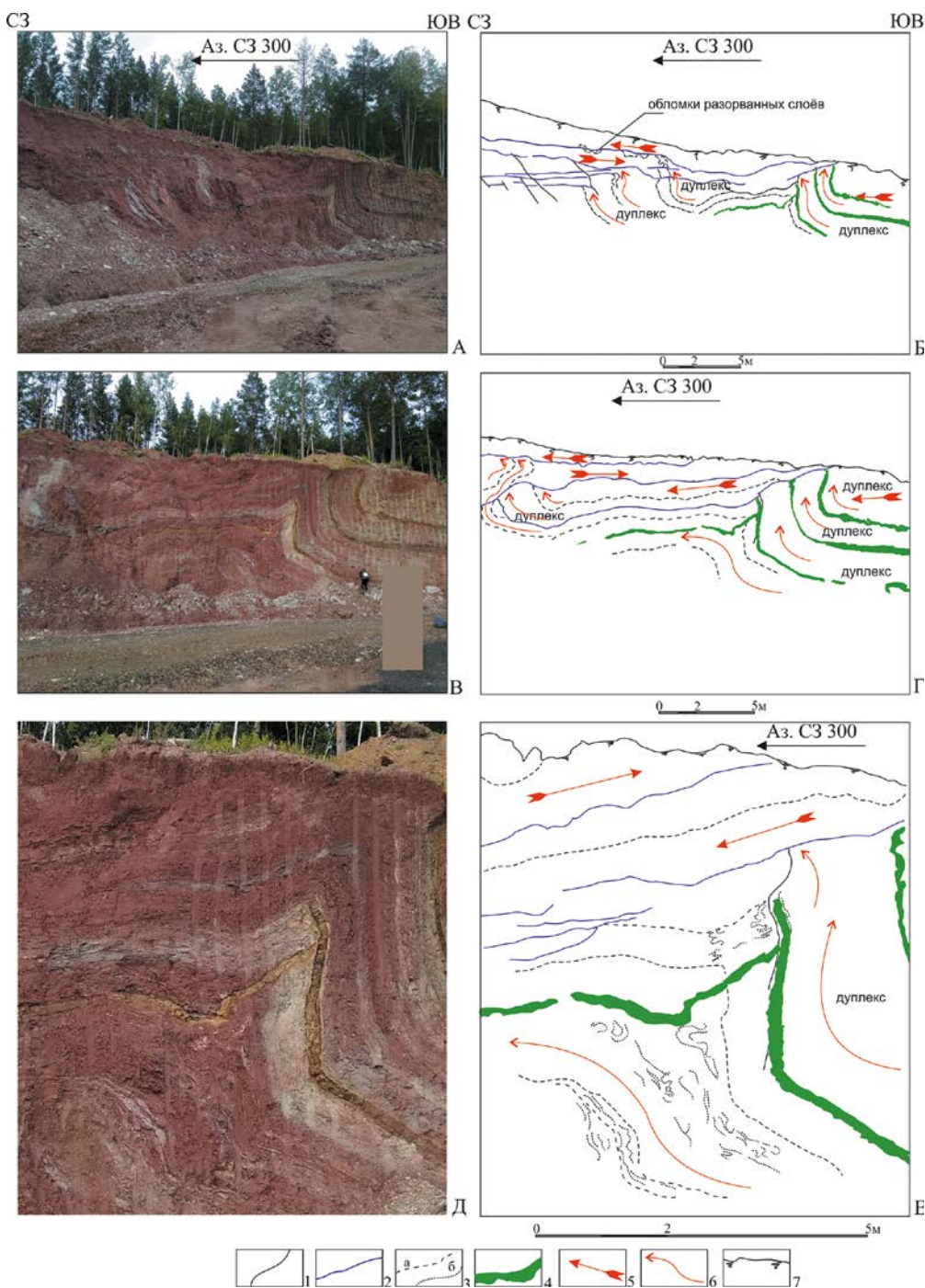


Рис. 1. Складчато-надвиговые структуры в стенке карьера на территории Прибайкалья.

А — обзорное фото борта карьера в точке наблюдения; **Б** — структурная схема борта карьера: выделяется надвиг с разорванными и растянутыми по сместителю слоями осадочных пород; **В** — детальное фото северо-восточного борта карьера в точке наблюдения; **Г** — структурная схема северо-восточного борта карьера в точке наблюдения с дешифрированными сместителями надвигов и поддвигов в шарьяже и дуплексами; **Д** — фрагмент детального фото борта карьера с дислоцированной дайкой долеритов; **Е** — структурная схема борта карьера с дислоцированной дайкой долеритов и дислоцированной толщей осадочных пород, находящихся в зоне шарьяжа. Разрывные нарушения: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие сместители между блоками шарьяжа, 3 — структурные линии: а — границы между дуплексами первого этапа складчатости, б — мелкая складчатость второго этапа внутри дуплексов, 4 — дайки и силлы долеритов, 5 — направление движения структурных блоков внутри шарьяжа, 6 — основные направления движения внутри дуплексов, 7 — поверхность земли

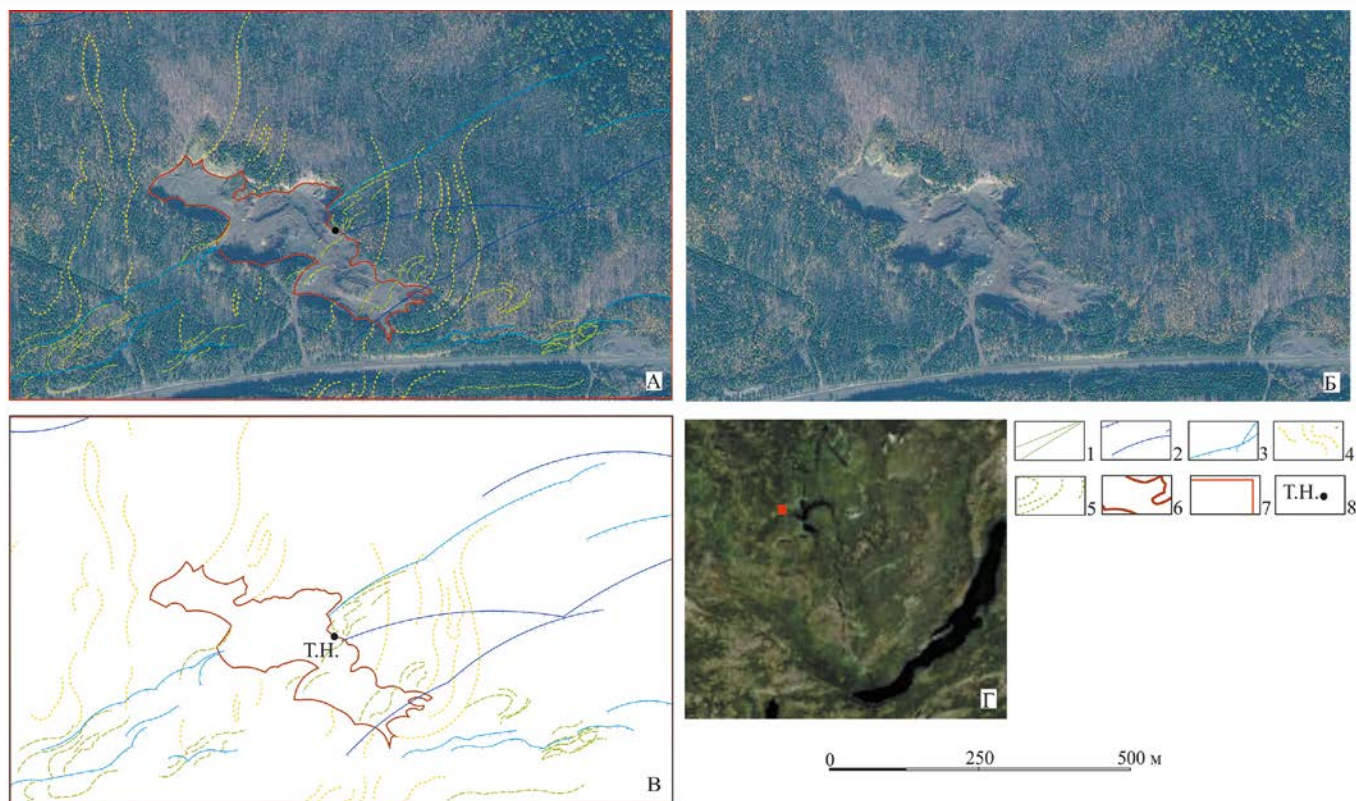


Рис. 2. Продолжение складчато-надвиговых структур на дневную поверхность из стенок карьера в районе точки полевого наблюдения на территории Прибайкалья. А — снимок высокого разрешения поисковой системы Bing Maps с элементами дешифрирования; Б — исходный фрагмент КС высокого разрешения поисковой системы Bing Maps; В — схема дешифрирования в районе карьера; Г — местоположение участка на КС среднего разрешения. Разрывные нарушения — 1–3: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие на космическом снимке среднего разрешения, 3 — дешифрированные надвиги на КС высокого разрешения, 4 — структурные линии первого этапа складчатости; 5 — структурные линии второго этапа складчатости; 6 — контур карьера; 7 — контур этого рисунка; 8 — точка наблюдения в стенке карьера

черквивающий уступы отдельных чешуй надвигов на склонах и складчатость в слоистых породах (рис. 6–Б).

Результаты дешифрирования складчато-надвиговых структур по данным космической съемки в Прибайкалье подтверждены полевыми заверочными работами, проведенными авторами летом 2019 г. Так, в стенке карьера наблюдается складчато-надвиговая структура, подчеркнутая светлыми слоями песчаников на коричнево-красном фоне слабо ожеженных алевролитов с дайками и силлами долеритов (рис. 1). Породы смяты в результате пластических деформаций, возникших при надвиговых процессах с юго-востока. Об этом свидетельствуют деформированные в результате растяжения с ЮВ на СЗ слои осадочных образований, образующие отдельные ячеистые скопления (рис. 1–Б). При движении надвиговых блоков между автохтоном и аллохтоном образуются дуплексы, разделенные на зарисовках обнажений синими линиями (рис. 1–Б, Г). Форма дуплексов S-образная. Верхний край дуплексов завернут по направлению движения надвига. В западной части обнажения наблюдается серия сближенных дуплексов. В юго-восточной части обнажения наблюдается серия силлов, внедрившихся по междуплексным пространствам. Более четко они наблюдаются на рис. 1–В, Д. На рис. 1–Д виден раз-

рыв силла и смещение его относительно первоначального положения на один метр вверх, перпендикулярно направлению движения надвига (рис. 1–Е).

Надвиговые структуры, продолжающие структуры, выявленные в бортах карьера, вблизи точки наблюдения (ТН) хорошо дешифрируются на космических снимках по смене фоторисунка (рис. 2). Они сопровождаются складчатостью второго этапа деформации с осями, вытянутыми согласно простиранию надвиговой структуры. Однако из-за того, что рельеф местности сглаженный и плохо видны пластовые треугольники, надвиговую структуру можно принять за крутопадающий разлом (рис. 2–А).

Структурные линии, относящиеся к слоистости в осадочных образованиях, дешифрируются по микро-рельефу, который затеняется древесной растительностью. Следует отметить, что иногда обнажению микро-рельефа способствуют природные изменения или техногенные воздействия, например, эрозия, оползневые процессы, обвалы, пожары, развитие пахотных земель, что может обнажить поверхность земли на относительно большой площади. Примером может служить уничтожение растительности лесным пожаром на юге исследуемой территории в мае 2003 г. На многозональном космическом снимке

с датой съемки 18 мая 2003 г. нет признаков пожара на территории в районе трассы Вихоревка — Турма, поэтому с большим трудом можно дешифрировать отдельные структурные элементы. На КС съемки 27 мая 2003 г. видны следы пожара на площади 20×17 км (около 400 км^2). На предшествующих этому периоду снимках складчатость с СВ простиранием осей складок совершенно не видна, но на снимках, сделанных позднее, 27 мая 2003 г., эти структуры уверенно дешифрируются.

Пожар и последующее восстановление растительности подчеркнули микрорельеф и выборочную растительность на определенных участках, в наиболее обводненных западинах и оврагах. В результате довольно четко дешифрируется мелкая складчатость СВ простирания с острыми замками складок (рис. 5—А, В). Это хорошо видно даже на снимке спутника Landsat ETM+ с дефектами съемки (рис. 5—Г). Выделившиеся после пожара структуры на долгие годы остаются доступными для дешифрирования. Так, на современных космических снимках этой территории дешифрируется вытянутая в СВ направлении складка первого этапа складчатости, имеющая протяженность более 8,5 км при ширине 1,3 км и ограниченная мелкими надвигами СВ простирания. Складка осложнена рядом более мелких складок того же простирания. Обзорное дешифрирование КС спутника Landsat 1999 и 2001 гг. съемки приведено на рис. 6—А, Б. В центральной части приведенного фрагмента снимка по смене фоторисунка прослеживается надвиговая структура СВ простирания с ЮВ падением сместителя. Одна из ее чешуй проходит через ТН в карьере (рис. 2—А, В). Надвиговую структуру сопровождает складчатость второго этапа с осями складок того же простирания, что и надвиговая структура. На ЮЗ участка надвигами срезаются складки СЗ и субмеридионального простирания первого этапа складчатости. В северной части участка дешифрируется хорошо дифференцированная кольцевая структура диаметром около 20 км. Видно (рис. 6—А), что крупные водотоки заложены по зеркалам склад-

чатости первого этапа складчатости, а мелкие — по надвиговым и складчатым структурам второго этапа.

Приморье. В противоположность сглаженному рельефу Прибайкалья на территории Приморья, в районе хребта Сихотэ-Алинь, рельеф резко расчлененный. На использованных снимках высокого разрешения спутников WorldView-2, 3 (особенно зимнего сезона съемки) хорошо виден микрорельеф местности: уступы, вытянутые в одном направлении в районе фронта надвига, выклинивание этих уступов в области развития фронта надвига, а также чешуйчатое строение последнего. Пологие структуры хорошо дешифрируются. Пластовые треугольники четко проявлены, что позволяет легко определить направление падения сместителя надвига в ЮВ направлении. Если сместитель расположен субгоризонтально, уступ и смена фоторисунка будут повторять горизонтали рельефа, а при наклонном залегании сместителя будут наблюдаться пластовые треугольники, по которым можно определить направление падения сместителя надвига или пластов осадочных пород. Дугообразными уступами подчеркиваются выходы на поверхность более устой-

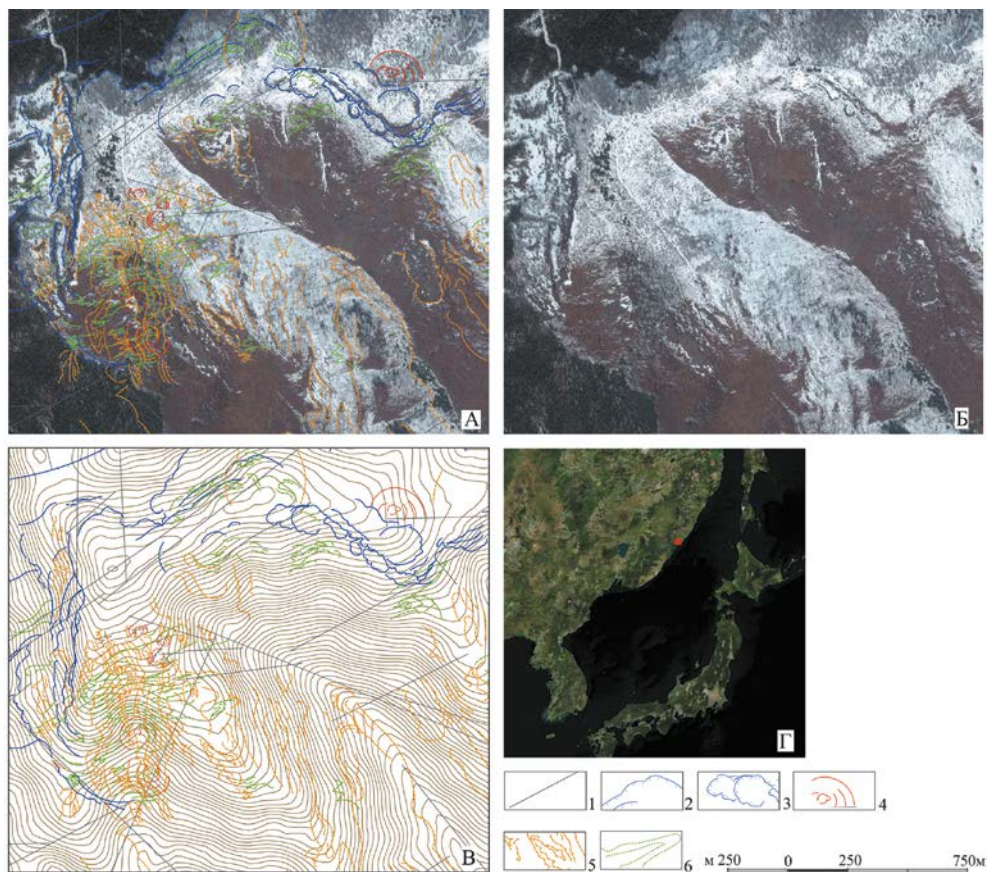


Рис. 3. Фронт шарьяжа с серией клиппов на зеленой территории Приморья. А — фрагмент космоснимка WorldView-2, 3 со схемой дешифрирования надвиговых структур и складчатости двух этапов; Б — фрагмент исходного космоснимка WorldView-2, 3 на изучаемом участке в Приморье; В — схема дешифрирования изучаемого участка на топооснове; Г — местоположение изучаемого участка на космоснимке среднего разрешения. Разрывные нарушения — 1–4: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие: надвиги с указанием направления падения сместителя по бергштрихам; 3 — клиппы; 4 — дуговые разломы кольцевых структур; 5 — структурные линии первого этапа складчатости; 6 — структурные линии второго этапа складчатости

чивых пластов осадочных пород. Местами эллипсоидными контурами западин и выступов дешифрируются замки складок (рис. 3, 4, 7).

На КС, сделанных в позднеосенний, ранневесенний и зимний периоды, когда наблюдается наибольшая открытость территории от лиственных растений, при условии незначительной мощности снежного покрова, удалось обнаружить тектонические клиппы (останцы аллохтона) и фронтальные части надвигов. Они выявляются на КС высокого разрешения по наличию специфического фоторисунка, характеризующегося ячеистостью, полосчатостью, а также активной складчатостью разных направлений (рис. 3, 4). При этом складчатость первого этапа — СЗ простирания — осложнена складчатостью второго этапа — с осями СВ простирания. Образование складок второго этапа, предположительно, прошло две основные стадии развития: на первой стадии — на крыльях складок первого этапа образовались изоклинные складки второго этапа смятия (рис. 3—А, В, рис. 4—А, В). Они наблюдаются в пределах складчатых структур СЗ и субмеридионального (СМ) простираний и дешифрируются по зеркалам складчатости. На второй стадии, перед срывом по сместителю надвига, происходит перекристаллизация пород с образованием мелких зон (часто S-образной формы в плане) динамометаморфических преобразований, характеризующихся наличием серий мелких разрывных нарушений.

Полосчатое строение фоторисунка отражает интенсивное смятие пород, а в силу также присутствующего ячеистого фоторисунка — брекчирование пород в пределах зоны плоскости сместителя (рис. 3—А, В, рис. 4—А, В). Клиппы и фронтальные части шарьяжа, вероятно, сложены устойчивыми к выветриванию туфами кислого состава с плитчатой отдельностью. Как результат, на этих участках плохо образуется гумусовый слой, уровень грунтовых вод находится на большой глубине, что создает плохие условия для произрастания растений, особенно древесных. Плохая закрепленность обломков пород приводит к образованию большого количества осыпей, что отчетливо видно в местах развития останцов аллохтона. На КС высокого разрешения такие участки характеризуются белым и светло-серым фототонном, а также мелким, пятнисто-вытянутым фоторисунком (рис. 7—А, Б).

Для фронта надвига характерен полосчатый фоторисунок вследствие че-

шуйчатого строения напользающих друг на друга пластин аллохтона (рис. 3—А, Б, рис. 4—А, Б, рис. 7—А, Б) и складчатости, вытянутой согласно фронту надвига. Склоны во фронте надвига имеют овражистый и ступенчатый рельеф. Направление падения поверхности сместителя определялось по соотношению с рельефом местности, для чего использовалась топооснова (рис. 3—В, рис. 4—В), созданная по данным КС.

Особое строение имеет поверхность фронта надвиговой зоны (шарьяжа). В связи с тем, что сместитель надвига пологий, а рельеф склона изрезан распадками и оврагами, выход поверхности сместителя имеет

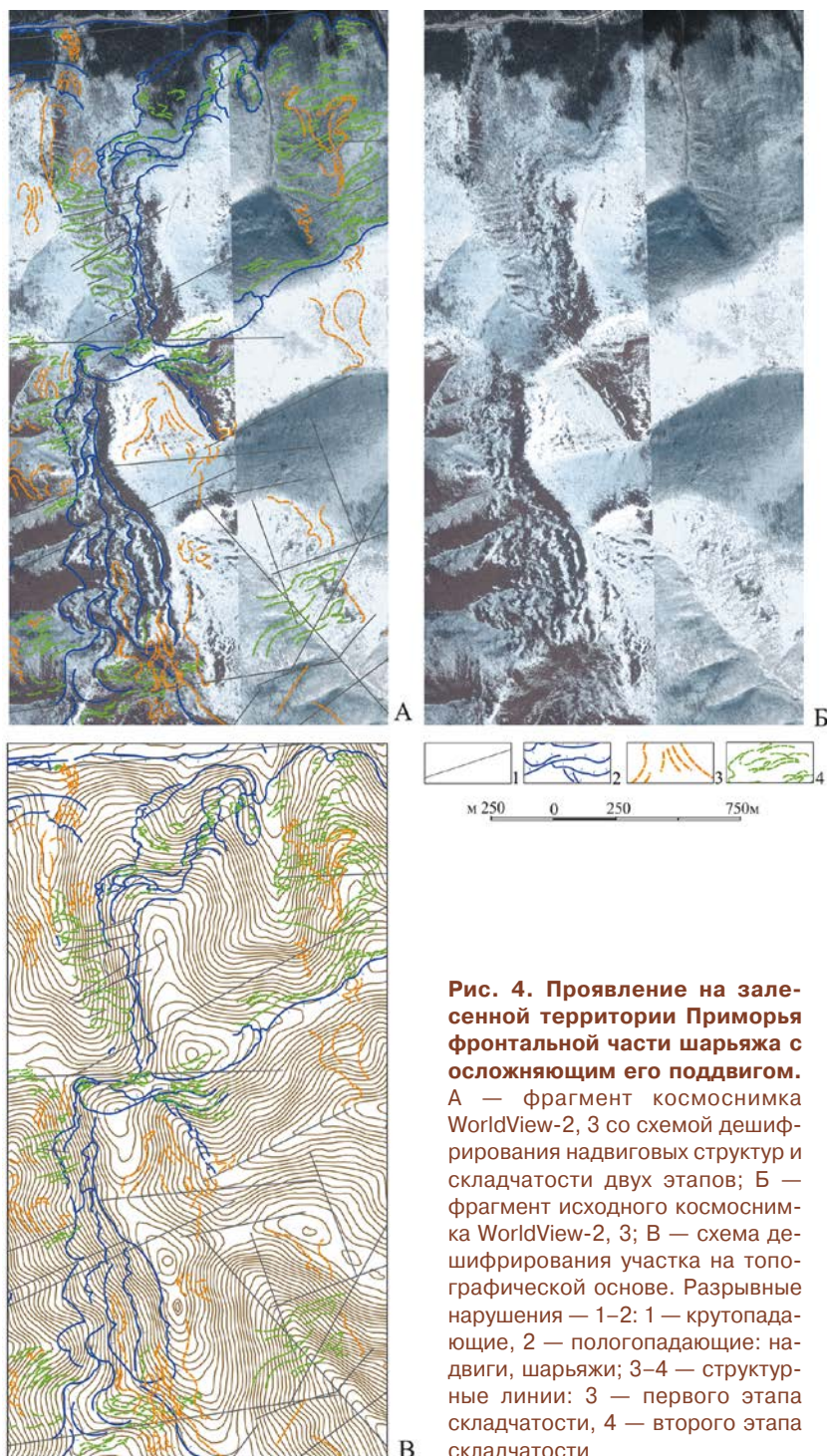


Рис. 4. Проявление на залесенной территории Приморья фронтальной части шарьяжа с осложняющим его поддвигом. А — фрагмент космоснимка WorldView-2, 3 со схемой дешифрирования надвиговых структур и складчатости двух этапов; Б — фрагмент исходного космоснимка WorldView-2, 3; В — схема дешифрирования участка на топографической основе. Разрывные нарушения — 1–2: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие: надвиги, шарьяжи; 3–4 — структурные линии: 3 — первого этапа складчатости, 4 — второго этапа складчатости

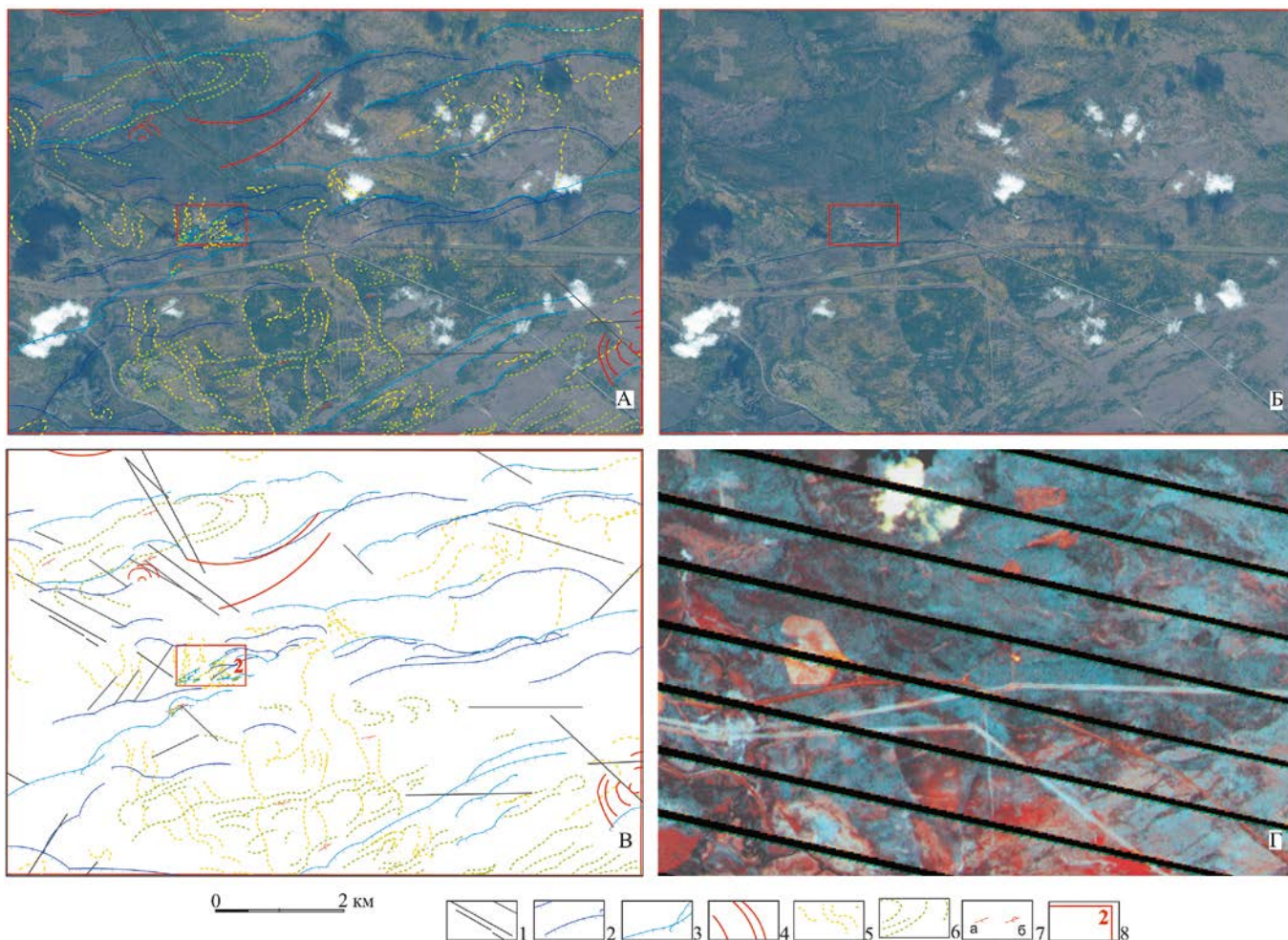


Рис. 5. Дешифрирование складчато-надвиговой зоны после пожара на космоснимках высокого разрешения на территории Приморья. А — снимок высокого разрешения поисковой системы Bing Maps с элементами дешифрирования; Б — исходный фрагмент снимка высокого разрешения поисковой системы Bing Maps; В — схема дешифрирования космоснимка высокого разрешения; Г — RGB-композит каналов 7, 8, 4 по фрагменту космоснимка среднего разрешения ETM+ 21 июня 2018 г. Разрывные нарушения — 1–4: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие: надвиги (по КС среднего разрешения), 3 — надвиги на космоснимках высокого разрешения, 4 — дуговые разломы кольцевых структур; 5 — структурные линии первого этапа складчатости; 6 — структурные линии второго этапа складчатости; 7 — элементы залегания: а — нормальные, б — опрокинутые; 8 — контуры рисунков и их номера

в плане неровный, извилистый характер: на отрогах он отдаляется, а в западинах приближается к основному водоразделу, имеющему СВ простирание. Это можно проследить на карте горизонталей рельефа (рис. 3, 4). На рис. 7 показан шарьяж с ундулирующим сместителем. Во фронтальной части шарьяжа наблюдается ряд клиппов и эрозионных окон. Клиппы имеют несколько вытянутую форму в СЗ и СВ направлениях и размеры от 1 до 4 км. На рис. 7 хорошо видно эрозионное окно между клиппами на СЗ территории и шарьяжем в его фронтальной части. Элементы шарьяжа и клиппы дешифрируются по одинаковому фоторисунку, имеющему светлый фототон в отличие от окружающих пород с темным фототонном, а также по тонко полосчатому рисунку в основном СВ простирания, образованному интенсивно смятыми и милонитизированными породами (рис. 7). Структурные линии, вынесенные на крупномасштабных участках (рис. 3, 4, 7) схем, отображают складчатость в осадочных породах и полосча-

тость в динамометаморфических зонах. Структурные линии имеют два основных направления: первое — СЗ простирание и второе (наложенное на первое) — СВ простирание.

Местами (рис. 7—А, В) шарьяжи перекрывают относительно старые надвиговые структуры СВ простирания с ЮВ падением поверхности сместителя. Это говорит о практически одновременном образовании надвиговых и шарьяжных структур. Сама шарьяжная структура имеет сложное чешуйчатое строение, в ней наблюдаются участки дуплексов — надвиги одних чешуй на другие и поддвиги одних чешуй под другие (рис. 3, 4, 7). На водоразделе на СВ участка, в центральной части шарьяжа (рис. 3—А, Б, В), дешифрируются субгоризонтальные структуры в виде клиппов с хорошо выраженными эрозионными уступами. Предположительно, это клиппы шарьяжа, находящегося восток-юго-восточнее (рис. 4, 7), так как по характеру фоторисунка клиппы и шарьяж в своей фронтальной части идентичны.

Выводы

1. Использование КС высокого разрешения *в залесенных районах* позволяет с довольно высокой степенью достоверности выявить области развития надвиго-складчатых структур и зон интенсивного смятия пород.

2. На степень дешифрируемости *в залесенных районах* могут влиять природные и техногенные изменения территории, а также сезон проведения космической съемки, например, съемка малоснежной зимой, когда отсутствует лиственный покров.

3. Наиболее благоприятными сезонами для проведения космической съемки, материалы которой используются для крупномасштабного структурно-тектонического дешифрирования *в залесенных районах*, являются поздняя осень (ноябрь), зимнее время (при небольшом снежном покрове) и ранняя весна. В северных районах — это март–апрель, в средней полосе России — февраль–март.

4. Дешифрируя весенне-летне-осенние снимки *в залесенных районах*, следует обращать внимание на фототон и цвет растительности. Дополняет структурно-тектоническое дешифрирование залесенных районов использование вегетационных индексов NDWI и NDVI, которые подчеркивают участки, покрытые однородной растительностью, а значит сходные по уровню фотосинтеза, влагонасыщенности и составу почв (рис. 6–Б).

5. На всей изученной территории *в залесенных районах* как Прибайкалья, так и Приморья *хорошо дешифрируются надвиго-складчатые структуры, уверенно выделяется складчатость двух этапов.*

6. На *залесенных районах территории* Приморья первый этап складчатости по данным дешифрирования характеризуется осями складок СЗ и субмеридионального простирания. Складки первого этапа разной степени протяженности по длинной оси, местами до 15 км. Возможно, длина складок больше, но они

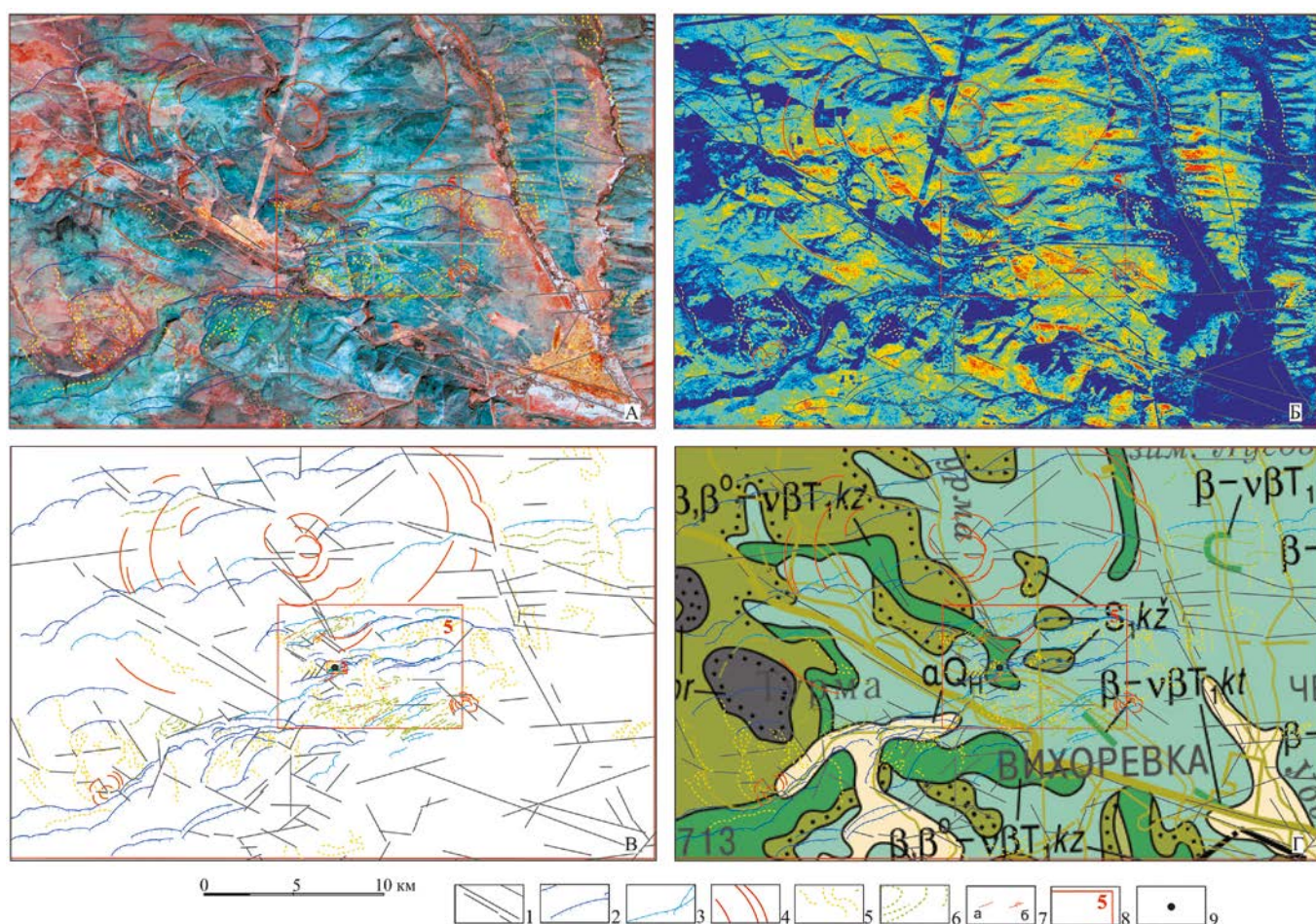


Рис. 6. Пример дешифрирования космоснимка среднего разрешения в залесенном районе возле г. Братск, территория Прибайкалья. А — фрагмент RGB-композиции каналов 7, 8, 4 летнего многоспектрального космоснимка среднего разрешения с результатами дешифрирования; Б — результаты дешифрирования фрагмента вегетационного индекса NDVI зимнего многоспектрального космоснимка среднего разрешения; В — результирующая схема дешифрирования многоспектральных космоснимков; Г — фрагмент геологической карты О-47 (Зуев В.К. и др., 2010) с наложенной на нее схемой дешифрирования. Разрывные нарушения — 1–4: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие: надвиги (по КС среднего разрешения), 3 — надвиги на космоснимках высокого разрешения, 4 — дуговые разломы кольцевых структур; 5 — структурные линии первого этапа складчатости; 6 — структурные линии второго этапа складчатости; 7 — элементы залегания: а — нормальные, б — опрокинутые; 8 — контуры рисунков и их номера; 9 — точка наблюдения в карьере

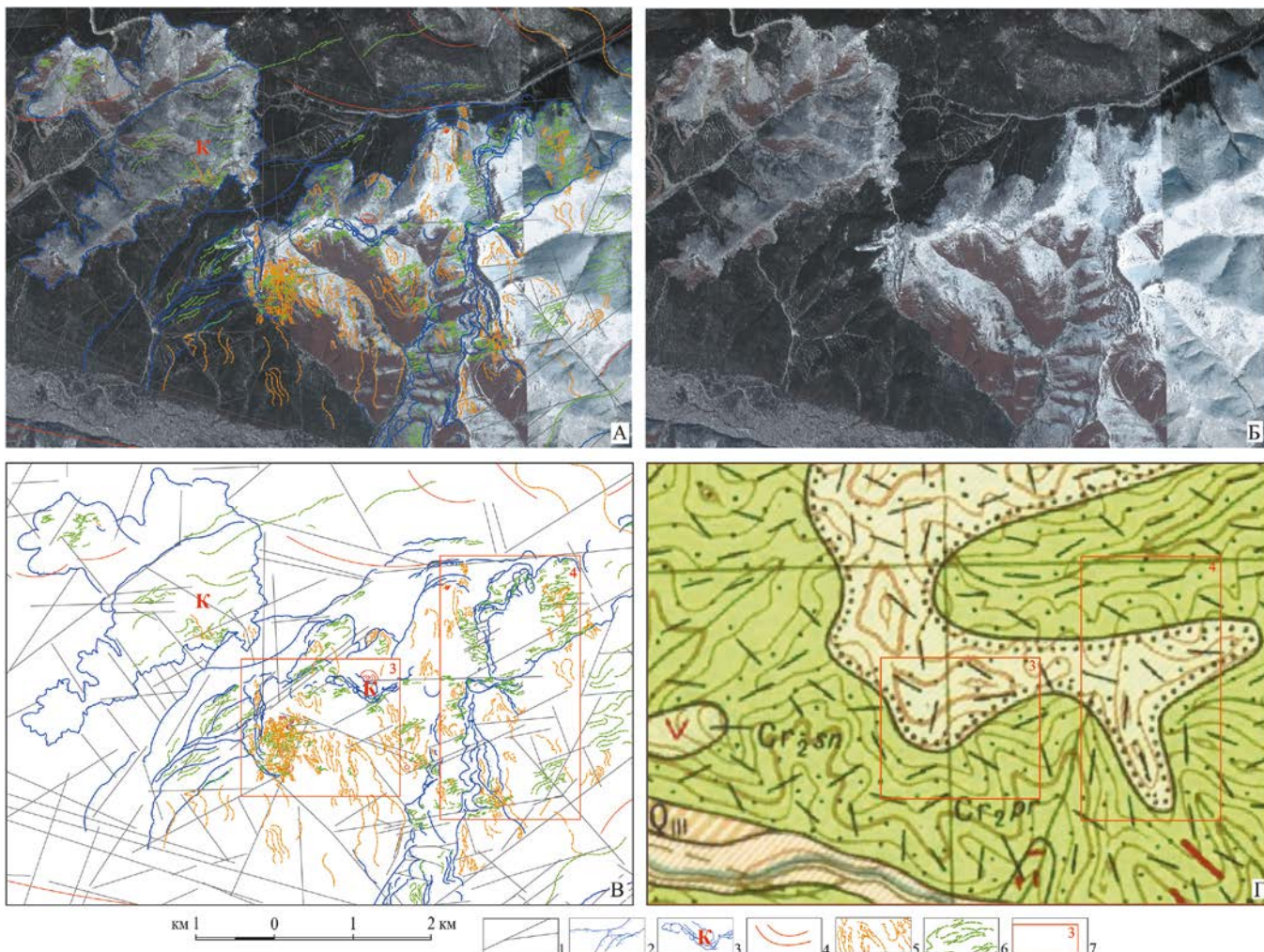


Рис. 7. Останцы аллохтона и фронтальная часть шарьяжа с серией надвиговых структур на КС высокого разрешения зимнее время года на территории Приморья. А — фрагмент космоснимка WorldView-2, 3 со схемой дешифрирования надвиговых структур и складчатости двух этапов; Б — фрагмент исходного космоснимка WorldView-2, 3; В — схема дешифрирования участка; Г — фрагмент геологической карты масштаба 1:200 000. Разрывные нарушения — 1–4: 1 — крутопадающие, 2 — пологопадающие; 3 — клиппы (К); 4 — дуговые разломы кольцевых структур; 5 — структурные линии первого этапа складчатости, 6 — структурные линии второго этапа складчатости; 7 — контуры рисунков и их номера

срезаны надвиговыми структурами. Ширина складок — до 6 км. Крупные складки первого этапа с осями СЗ простирания подчеркиваются речной сетью того же заложения. Это хорошо видно на NDWI и NDVI-композиатах (рис. 6–Б). Складчатость первого этапа осложнена наложенной на нее складчатостью второго этапа и прослеживается по зеркалам складчатости, что удается проследить *на залесенной территории* по данным ДЗЗ. Складки второго этапа тесно связаны с надвиговыми структурами и всегда их сопровождают. Эти складки непротяженные, вытянутые по длинной оси в СВ направлении. Ширина их — первые десятки или сотни метров, длина от сотен метров до нескольких километров.

7. На *залесенных районах территории* Приморья выявлены по данным ДЗЗ как надвиги с падением плоскости сместителя в ЮВ направлении, так и шарьяжи с ундулирующим сместителем, сопровождающиеся поддвигами, в том числе с ЮЗ падением поверхности сместителя и тектоническими клиппами (рис. 3, 4, 7).

При этом можно говорить о направлении тектонических движений с юго-востока, что было ранее отмечено автором [1], а также наблюдалось нами в стенках карьера (рис. 1) Возможно, шарьяжи образовались по границе более плотных, чем песчаники, туфов кислого состава.

8. Для *залесенного района* территории Приморья проведено сопоставление фрагментов изданной геологической карты масштаба 1:200 000 и результатов выполненного космоструктурного дешифрирования на тот же самый район (рис. 7). На изданной геологической карте тектонических элементов вообще нет. Проведенная в 1977–1979 годах (Радионов А.Н.) поисковая геохимическая съемка масштаба 1:50 000 никаких изменений в тектоническое строение района не внесла. На полученной при дешифрировании тектонической схеме, выполненной с применением КС высокого разрешения, нами дешифрируются шарьяжная и надвиговые структуры, а также сопровождающие их складчатость и крутопадающие разломы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абушкевич, С.А. Надвиговые и кольцевые структуры Забайкалья по результатам дешифрирования космоснимков / С.А. Абушкевич // Геология и полезные ископаемые Читинской области к 50-летию ГГУП «Читагеолсъемка». — Чита: ГГУП «Читагеолсъемка», 2000 — С. 60–71.
2. Абушкевич, С.А. Поиски золоторудных объектов на основе спектральных характеристик космических снимков Landsat и WorldView-1 (месторождения Сентачан и Полярник, Республика Саха) / С.А. Абушкевич, К.А. Волин // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. — 2014. — Вып. 2. — С. 82–92.
3. Абушкевич, С.А. Перспективы нефтегазоносности юго-восточного побережья и островов Хатангского залива по данным дистанционного зондирования земли / С.А. Абушкевич, К.А. Волин,

- Т.А. Арестова // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 2. — С. 24–31.
4. Абушкевич, С.А. Перспективы нефтегазоносности Восточной Европы по данным дистанционного зондирования земли / С.А. Абушкевич, К.А. Волин // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 37–46.
5. Ceccato, P. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain / P. Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, et al. // Remote Sensing of Environment. — 2001. — 77. — P. 22–33.

© Коллектив авторов, 2021

Абушкевич Сергей Антонович // niicosm_as@mail.ru

Арестова Татьяна Альбертовна // t.a.arestova@mail.ru

Волин Кирилл Артемович // k.volin@spbu.ru

Липилин Дмитрий Александрович // Lipilin_dmitrii@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3.04:504.05 (470.345)

Живайкина В.В. (Мордовское региональное отделение РосGeo)

ПРОБЛЕМЫ САРАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Статья раскрывает проблемы истощения и загрязнения водоносных комплексов карбонатных отложений на эксплуатируемых площадях водозаборов «Саранскводоканала»; изменения гидродинамических и геохимических условий указанных водозаборов, как результат длительного и массового водоотбора из отложений карбонатного комплекса на указанных площадях; массовый водоотбор как фактор изменения геохимического состава грунтовых вод указанных горизонтов. Одним из вариантов для выявления закономерностей указанных явлений и способом прогнозирования дальнейшей динамики является 3D моделирование. **Ключевые слова:** напор, пьезоизогипса, депрессионная воронка, минерализация, эксплуатационная нагрузка, истощение.

Zhivaykina V.V. (Mordovian Regional Office of RosGeo)

THE PROBLEMS OF THE GROUNDWATER DEPOSIT SARANSKOE AND THE RESULTS OF ITS OPERATIONS

The article reveals: problems of depletion and pollution of carbon deposits of water-bearing complexes in the exploited areas of the water intakes of «Saranskvodokanal»; changes in the hydrodynamics and geochemical conditions of indicated water intakes as a result of long-term and massive water withdrawal from the deposits of the carbonic complex in the indicated areas; mass water withdrawal as a factor of changes in the geochemical composition of groundwater in these areas. One of the options for identifying patterns of these phenomena and

a way to predict further dynamics is 3D modeling. **Keywords:** head, piezoisogypsum, depression funnel, mineralization, operational load, depletion.

По материалам: Молдавской А.К., Бочарова И.А., Погребняк И.Ф., Сафронова Г.Г., Буцацкой Н.В., Евдокимова С.П., Маскайкина В.Н., Сафоновой Н.Е., Володиной Т.В., Фисунова А.Д., Григорьевой Т.Е., Шпагиной О.Н., Поронова С.К., Соломкина Л.Г., Плотникова В.С., Танивой Г.В., Дикарева В.В.

Республика Мордовия — субъект Российской Федерации, расположена в центре Европейской части России. Входит в состав Приволжского федерального округа. Столица — Саранск.

Район исследований локализуется в центральной части Русской плиты древней Восточно-Европейской платформы. Рассмотрено Саранское месторождение напорных пресных подземных вод, приуроченное к трещиноватым и закарстованным отложениям каменноугольной системы, перекрытым толщей песчано-глинистых пород мезо-кайнозоя.

Данное месторождение на территории Саранска эксплуатируется еще с довоенных времен. Общие прогнозные эксплуатационные ресурсы основных водоносных горизонтов Саранского месторождения подземных вод приведены по оценке обеспеченности населения Республики Мордовия ресурсами подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и составляют 2604,6 тыс. м³/сут, в том числе: по водоносному каменноугольно-пермскому карбонатному горизонту с минерализацией до 3,0 г/дм³ — 2435 тыс. м³/сут (из них пресные — 1584,9 тыс. м³/сут); по водоносному волжско-воланжинскому терригенному комплексу — 7,9 тыс. м³/сут; по водоносному верхнемеловому карбонатно-терригенному комплексу — 152,1 тыс. м³/сут и водоносному среднечетвертично-современному аллювиальному горизонту — 9,0 тыс. м³/сут (Гидроспецгеология на 2001 г.).

Как видно из приведенных выше цифр, водоносный каменноугольно-пермский карбонатный горизонт