

В. Н. Губин (БГУ, Республика Беларусь)

В 1972 г. окончил Белорусский государственный университет (БГУ) по специальности «география». В настоящее время — заведующий кафедрой динамической геологии БГУ. Доктор географических наук, профессор.

Сейсмоактивные геодинамические зоны Старобинского месторождения калийных солей по данным дистанционного зондирования Земли

ВВЕДЕНИЕ

Старобинское месторождение калийных солей — одно из крупнейших в мире, занимает ведущее место в минерально-сырьевой базе Республики Беларусь. Промышленные калийные горизонты осваиваются рудниками ОАО «Беларусь-калий». В результате сейсмологического мониторинга в пределах калийного месторождения и прилегающих территорий инструментально зарегистрированы техногенные землетрясения, вызванные интенсивной разработкой сильвинитовых руд шахтным способом, а также транзитные сейсмособытия [1]. На основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса устанавливаются геодинамические зоны земной коры, контролирующие проявления землетрясений. Выявление пространственных закономерностей распределения сейсмоактивных геодинамических зон играет важную роль при решении проблем геоэкологии и рационального недропользования в связи с крупномасштабной разработкой Старобинского месторождения калийных солей.

КОСМОГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОН

Активные геодинамические зоны, контролирующие проявления сейсмических процессов, сформировались под воздействием тектонических напряжений. Они представляют собой системы разломов платформенного чехла и консолидированной части земной коры, участки повышенной трещиноватости горных пород и узлы пересечения разнонаправленных разрывных нарушений, испытывающие активизацию на новейшем этапе геологического развития. Геодинамические зоны определяют развитие сложных деформационных процессов, происходящих в массивах горных пород блокового строения в результате неотектонических деформаций, а также возмущений техногенного характера, вызванных подземной разработкой месторождений полезных ископаемых [2, 3]. Регистрируемые в геодинамических зонах очаги сейсмических событий подчеркивают их сейсмоактивность.

При космогеодинамических реконструкциях сейсмоактивных зон в пределах

Старобинского месторождения калийных солей и прилегающей территории одноименной центриклинальной депрессии Припятского прогиба осуществлялось структурное дешифрирование космических снимков, на которых выделялись системы линеаментов и проводилась их геодинамическая интерпретация на основе геолого-геофизических данных. При линеаментном анализе сейсмоактивных зон высокой информативностью отличаются космические снимки, полученные с Белорусского космического аппарата (БКА).

Дистанционное зондирование с БКА, выведенного на орбиту 22 июля 2012 г. вместе с российским спутником «Канопус-В», осуществляется оптико-электронной аппаратурой, позволяющей в панхроматическом режиме получать космические снимки с разрешением объектов на земной поверхности 2,1 м и 10,5 м в мультиспектральном режиме. При этом панхроматическая съемочная система обеспечивает космические снимки в одной зоне электромагнитного спектра 0,54–0,86 мкм, а мультиспектральная в четырех каналах — 0,46–0,52; 0,52–0,60; 0,63–0,69 и 0,75–0,84 мкм [4]. Оперативная космическая информация, получаемая с БКА и со сходного по параметрам спутника «Канопус-В», позволяет выполнять различные задачи, связанные с мониторингом природных ресурсов [4, 5] и обеспечивает проведение космогеодинамических реконструкций.

Структурное дешифрирование космических снимков выполнялось на основе геоинформационного и специального программного обеспечения для обработки данных дистанционного зондирования Земли. Методические приемы обработки космических снимков заключались в классификации изображений и их линеаментном анализе. При этом программой были рассчитаны сигнатуры с учетом спектральной яркости пикселей и выполнена сегментация

изображений с последующей их классификацией. Классифицированные снимки отличаются значительным количеством однородных областей, занятых одним классом, и информативны для выделения линеаментов и их пространственного совмещения с геолого-геофизическими данными.

Индикаторами сейсмоактивных геодинамических зон на космических снимках являются системы линеаментов, выраженные в линейной ориентировке фрагментов речных долин, их резкой асимметрии, прямолинейных очертаний тыловых швов террас, приуроченности озерно-болотных низин и котловин к определенным линиям (рис. 1). В геодинамических зонах наблюдается усиление циркуляции подземных вод, повышается гидравлическая связь грунтовых вод с напорными нижележащих водоносных горизонтов, что приводит к избыточному увлажнению и заболачиванию территории.

В результате геолого-геофизической интерпретации космоструктурных данных установлены пространственные соотношения дешифрируемых на космических снимках систем линеаментов с особенностями распределения сейсмоактивных геодинамических зон в пределах разрабатываемого месторождения калийных солей и Старобинской центриклиналы Припятского прогиба в целом (рис. 2, 3). Ведущими космогеодинамическими критериями являются: 1) отражение активных (от позднего олигоцена — около 30 млн лет — до настоящего времени) разломов платформенного чехла и кристаллического фундамента в верхних горизонтах осадочной толщи, в том числе четвертичных отложениях, и в морфолитогенных чертах земной поверхности в виде систем линеаментов; 2) приуроченность линеаментов к четким протяженным зонам градиентов и линейным аномалиям магнитного и гравитационного полей; 3) аномалии неотектонических

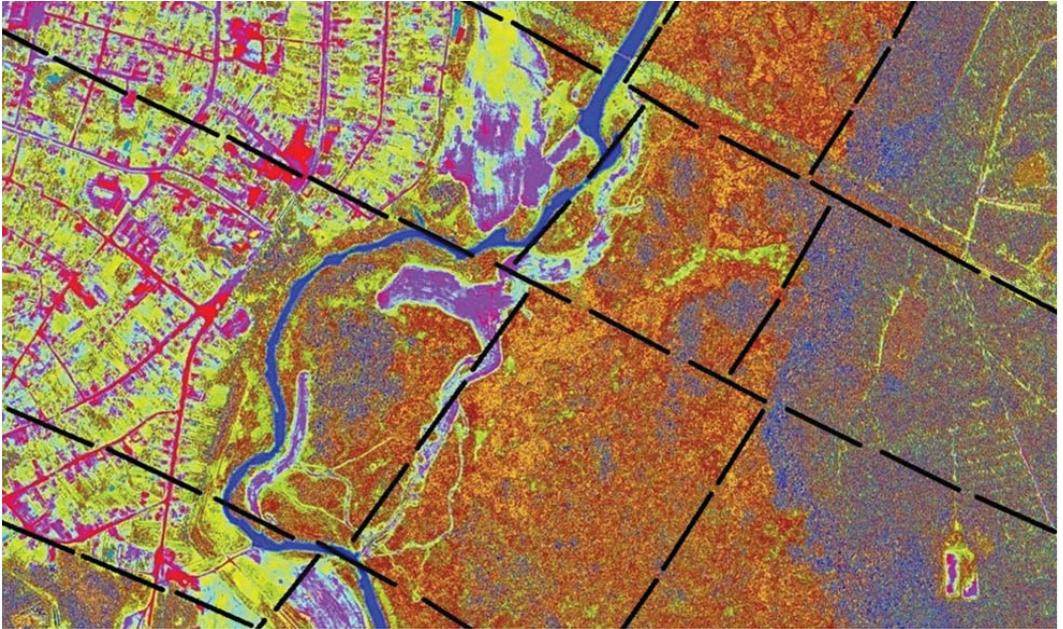


Рис. 1. Отображение систем линеаментов — индикаторов сейсмоактивных геодинамических зон на классифицированном космическом снимке

деформаций, высокие значения и контрастность современных вертикальных движений в зонах линеаментов; 4) проявления в линеаментных зонах сейсмособытий, вызванных транзитными землетрясениями и техногенными сейсмическими процессами, возникающими при подземной отработке калийных горизонтов.

В пределах разрабатываемого Старобинского месторождения калийных солей незначительные по протяженности (3–12 км) линеаменты обнаруживают связь с активными локальными разломами, ограничивающими западный, центральный, восточный и северо-восточный тектонические блоки. В центральном блоке расположены шахтные поля калийных рудников 1, 2 и 3-го рудоуправлений (РУ), в восточном — 4-го РУ (рис. 2). Разломы прослеживаются в различных горизонтах платформенного чехла и имеют амплитуды смещения

пород от нескольких десятков до первых сотен метров. В соленосной толще верхнего девона они отражаются в виде флексурно-разрывных нарушений. Достоверность выделения малоамплитудных (до 50 м) разломов в платформенном чехле повышается благодаря комплексному анализу данных дешифрирования КС и результатов сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки (МОГТ).

Калийное месторождение в северо-восточном направлении пересекает Старобинская геодинамическая зона (рис. 2), в пределах которой прослеживается Центральный разлом, ограничивающий шахтные поля 1, 3 и 4-го РУ. Разлом сбросового типа имеет амплитуду от 200–300 м по поверхности кристаллического фундамента до 100 м по поверхности межсолевых отложений и кровли галитовой подтолщи верхнего девона. Центральный разлом

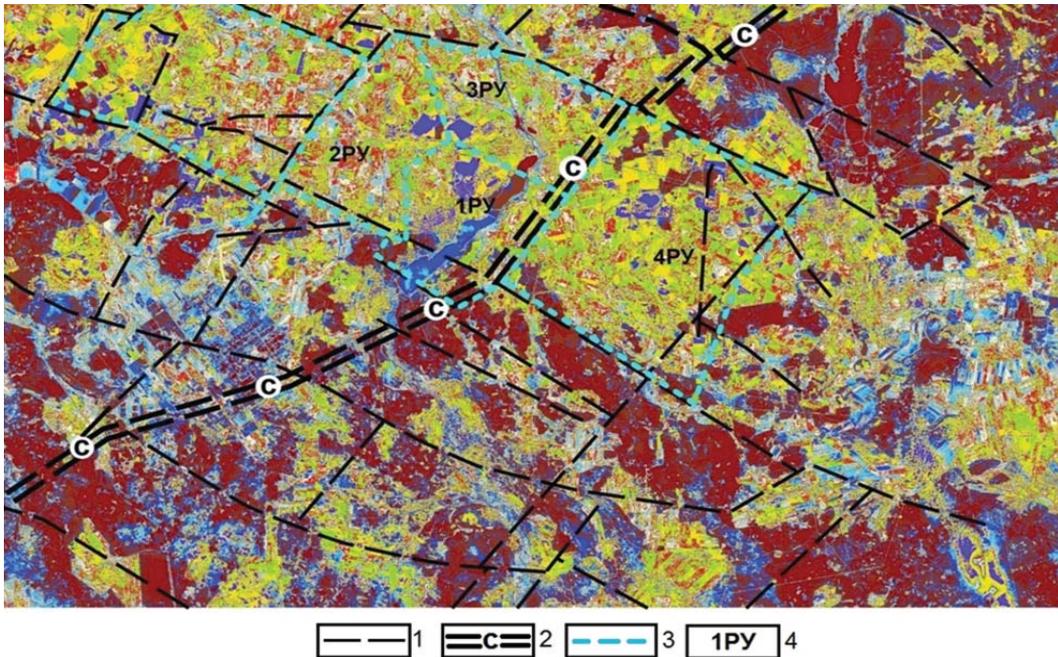


Рис. 2. Сейсмоактивные геодинамические зоны в пределах Старобинского месторождения калийных солей:

1) линейменты, отражающие разрывные дислокации и зоны повышенной трещиноватости платформенного чехла; 2) Старобинская геодинамическая зона; 3) границы шахтных полей калийных рудников; 4) рудоуправления ОАО «Беларуськалий»

проявляется в калиеносной толще в виде довольно широкой зоны дробления, на что указывают зоны осложнения сейсмической записи МОГТ. С использованием спутниковых систем глобального позиционирования установлены вертикальные перемещения геодинамических реперов на профиле через зону Центрального разлома, что свидетельствует о его новейшей активности.

Пространственное распределение сейсмоактивных зон Старобинского месторождения калийных солей контролируется геодинамическим режимом центриклинальной депрессии Припятского прогиба. Установленные в ходе космогеодинамических реконструкций Старобинской центриклинали активные геодинамические зоны шириной от нескольких сотен метров до первых километров обнаруживают связь с региональными

разломами платформенного этапа заложения: Северо-Припятским, Ляховичским, Речицко-Вишанским, Червонослободско-Малодушинским и др. (рис. 3). Они представляют собой разрывные нарушения сбросово-сдвигового типа с амплитудой смещения по поверхности кристаллического фундамента от первых сотен метров до 1,5 км. Дизъюнктивный характер этих структур отчетливо обнаруживается в палеозойских отложениях, а в мезокайнозойской толще они выражены малоамплитудными разрывами (до 10–50 м) либо зонами повышенной трещиноватости осадочных пород. Среди линейных структур доплатформенного этапа заложения на КС отражаются отдельные звенья Стоходско-Могилевского суперрегионального разлома, пересекающего центриклинальную депрессию

Припятского прогиба в северо-восточном направлении и ограничивающего Старобинское месторождение калийных солей с запада.

В сейсмоактивных геодинамических зонах Старобинской центриклинали отдельные участки разломов платформенного чехла и кристаллического фундамента отличаются высокими градиентами современных вертикальных движений земной коры. По данным повторного высокоточного нивелирования подобные деформации здесь имеют амплитуду до 25–30 мм/год, что на порядок выше региональных вертикальных перемещений земной поверхности западного региона Припятского прогиба в целом.

В пределах Старобинской центриклинали Припятского прогиба системы активных разломов ограничивают Слуцкий, Старобинский и Полесский неотектонические блоки (рис. 3). В позднеолигоцен-четвертичное время блоковые структуры испытывали преимущественно положительные деформации суммарной амплитудой порядка 80–100 м. На фоне общего воздымания отдельные сегменты блоков характеризовались дифференцированными движениями до 30–50 м. В линейном поле неотектонических блоков фиксируются участки с высокими значениями плотности и густоты линейментов, которые тяготеют к зонам повышенной трещиноватости и проницаемости земной коры. Новейшая активизация разломов является ведущим фактором возникновения дифференциальных движений в блоковых структурах. Неотектонические блоки контролируют распределение сейсмоактивных геодинамических зон.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В АКТИВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЗОНАХ

В результате космогеодинамических реконструкций Старобинского месторожде-

ния калийных солей и одноименной центриклиальной депрессии Припятского прогиба установлены пространственные взаимосвязи эпицентров землетрясений с активными геодинамическими зонами. Очаги сейсмических событий с интенсивностью сотрясения земной поверхности от 1–2 до 4–5 баллов (по шкале MSK-64) инструментально зарегистрированы геофизической обсерваторией «Плещеницы» и сейсмостанцией «Солигорск» (Минская обл., Беларусь) [1].

Ведущую сейсмогенерирующую роль в пределах разрабатываемого шахтным способом калийного месторождения и центриклиальной депрессии Припятского прогиба играет Старобинская геодинамическая зона (рис. 2, 3). В рассматриваемой сейсмоактивной зоне зарегистрированы землетрясения интенсивностью 4–5 баллов, обусловленные концентрацией и разгрузкой напряжений, энергетическая подпитка которых обусловлена карпатскими и другими транзитными сейсмическими событиями, а также техногенные микроземлетрясения от 1 до 2–3 баллов, возникающие при подземной отработке калийных горизонтов.

К Старобинской геодинамической зоне тяготеет довольно сильное для платформенных регионов землетрясение с интенсивностью сотрясения земной поверхности 4–5 баллов, которое произошло вблизи г. Солигорска 10 мая 1978 г. Сейсмическое событие зарегистрировано геофизическими обсерваториями «Плещеницы» и «Обнинск» (Калужская обл., Россия). Во время землетрясения обрушилось более 3 тыс. т соленосных горных пород на отработываемых шахтных полях ОАО «Беларуськалий». Данное сейсмическое событие, по-видимому связано с сильным транзитным землетрясением, возникшим в сейсмоактивной зоне Вранча, расположенной в Карпатах (Румыния) [1]. В пределах Старобинской геодинамической зоны 2 декабря 1983 г. и 15 марта 1998 г. произошли также

ощущавшиеся многими людьми землетрясения интенсивностью около 5 баллов.

Зарегистрированные сейсмостанцией «Солигорск» на эксплуатируемом Старобинском месторождении калийных солей микроземлетрясения с интенсивностью сотрясения земной поверхности 1–3 балла в большей степени обусловлены техногенными причинами. При подземной разработке сильвинитовых руд нарушается естественное напряженное состояние в породной толще, вызывающее возбужденную сейсмичность. Кроме того, на динамику сейсмособытий оказывают влияние складирование значительного объема галитовых отходов в виде солеотвалов высотой до 120 м и шламохранилищ, а также статическое давление водных масс Солигорского водохранилища. Подобная техногенная нагрузка приводит к перераспределению напряжений в земных недрах. При этом возникают сдвиговые и растягивающиеся деформации, определяющие проявления локальной сейсмичности. Техногенные сейсмические явления сопровождаются разрушениями породного массива и приводят к повреждению горных выработок. Эпицентры микроземлетрясений регистрируются как на участках обрабатываемых шахтных полей, так и за их пределами в пределах сейсмоактивных геодинамических зон (рис. 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате космогеодинамических реконструкций установлены пространственные закономерности распределения сейсмоактивных зон в пределах разрабатываемого шахтным способом Старобинского месторождения калийных солей и центриклинальной депрессии Припятского прогиба в целом. Выделенные на основе структурного дешифрирования КС геодинамические зоны определяют развитие сложных деформационных

процессов, происходящих в массивах горных пород в результате как естественных новейших тектонических движений, так и возмущений техногенного характера, вызванных подземной отработкой сильвинитовых руд. К активным геодинамическим зонам тяготеют эпицентры землетрясений, связанные с транзитными сейсмическими событиями, а также техногенные микроземлетрясения. Данные дистанционного зондирования Земли со спутников с оптико-электронной аппаратурой в панхроматическом и мультиспектральном режимах эффективно обеспечивают проведение космогеодинамических реконструкций и приобретают важную роль при организации и ведении сейсмологического мониторинга на Старобинском месторождении калийных солей и прилегающей территории Припятского прогиба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аронов А. Г., Сероглазов Р. Р., Аронова Т. И., Колковский В. М. Сейсмичность Беларуси // *Природные ресурсы*. — 2009. — № 2. — С. 90–97.
2. Губин В. Н. Проблемы экологической геодинамики Солигорского горно-промышленного района // *Природопользование в условиях дифференцированного антропогенного воздействия*. Минск – Сосновец, — 2000. — С. 124–132.
3. Журавков М. А. Техногенные динамические события в регионах крупномасштабного освоения подземного пространства // *Горная механика и машиностроение*. — 2014. — № 1. — С. 5–24.
4. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // *Геоматика*. — 2013. №2. — С. 16–36.
5. Золотой С. А. Белорусская космическая система дистанционного зондирования Земли: современное состояние и перспективы развития // *Геоматика*. — 2010. — №3. — С. 31–33.