

УДК 550.34 (571.17)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-37-47

Особенности геодинамики Кузбасса и методов ее исследования

А. Н. Соловицкий¹✉, А. И. Каленицкий²

¹ Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,

г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: san.mdig@mail.ru

Аннотация. Установлено раздельное изучение геодинамики и сейсмичности в Кузбассе, при этом отмечено доминирование сейсмического метода. В сложившихся условиях возникает необходимость разработки новых моделей для выявления особенностей геодинамики в Кузбассе на основе комплексных и продолжительных инструментальных наблюдений, что считается важной научной задачей. Поэтому целью исследований является изучение особенностей геодинамики и методов ее исследования в Кузбассе, включая связь с блочным строением земной коры. Для реализации указанной цели предлагается проведение фундаментальных исследований на основе многолетних комплексных инструментальных наблюдений с учетом иерархии строения земной коры, что обеспечивает интеграцию взаимодействия между смежными науками о Земле (сейсмологией, геофизикой, геодезией, геодинамикой и геомеханикой). Практическое использование результатов исследований заключается в расширении использования геодезических методов для изучения особенностей геодинамики региона.

Ключевые слова: особенности геодинамики, геодинамические и сейсмические процессы, землетрясение, геодинамическая и сейсмическая активность, блок земной коры

Для цитирования:

Соловицкий А. Н., Каленицкий А. И. Особенности геодинамики Кузбасса и методов ее исследования // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 37–47. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-37-47

Введение

Изучение геодинамики на территории Кузбасса геодезическими методами является востребованным и актуальным. Еще в прошлом веке была создана карта вертикальных движений Кузбасса и прилегающих территорий, которая подтверждает, что тренд современных движений поверхности земной коры является результатом их продолжения в новейший период [1]. Первой особенностью изучения геодинамики региона является то, что действующие в настоящее время геодинамические полигоны на территории Кузбасса нацелены скорее на регистрацию техногенных движений поверхности земной коры, что не позволяет уверенно установить корреляционную связь геодинамической и сейсмической активности региона в современный период для блоков земной коры [2]. Вторая особенность характери-

зует доминирование сейсмического метода. Вторая половина прошлого и начало нынешнего века для Кемеровской области (Кузбасса) характеризуется трансформацией понятия «сейсмичность территории» в «сейсмичность территории», затем «техногенную сейсмичность» и «техногенно-тектоническую сейсмичность». Понятие «сейсмичность территории» уверенно подтверждено количественными характеристиками сейсмических событий и сомнений не вызывает [3–5], однако последующие трансформации вызвали в отечественной научной среде широкую дискуссию. Подготовки кадров для решения указанной проблемы в регионе организовано не было (как и кадров высшей квалификации), что не способствует в нем развитию этого направления науки. Но местное региональное научное сообщество в целом принимает активное участие в решении новой проблемы наряду с московской и но-

восибирской научными школами [6–12]. Большое число публикаций посвящено состоянию изученности сейсмичности Кузбасса [13–15], методам исследования состояния очаговых зон, позволяющих определить основные параметры и выявить отличительные особенности сейсмического процесса [16, 17], включая рудные и угольные месторождения и их санацию. Значительное внимание уделено вопросу о сейсмическом эффекте промышленных взрывов и о влиянии их на геологическую среду Кузбасса [18–20]. В работе [21] рассматриваются экспериментальные исследования наведенной сейсмичности при подземной и открытой добыче угля в Кузбассе и триггерные эффекты в ее развитии. В последние годы появляется все больше работ, свидетельствующих о том, что наведенная сейсмичность в Кузбассе доминирует над природной [22, 23].

По мнению авторов, в существующем подходе раздельного изучения геодинамики и сейсмичности в Кузбассе установлено доминирование техногенной сейсмичности над природной, отсутствие ее затухания и нестационарности характера во времени, а также продолжительных рядов инструментальных наблюдений геодинамики земной коры [24]. Традиционными моделями на основе сетей сейсмологических станций сложно найти приемлемое решение, при этом сложность процесса требует развития комплексного подхода его изучения. Однако, несмотря на материальные и людские потери, изучение особенностей геодинамики, включая сейсмичность региона, до настоящего времени все еще находится в начальной стадии развития.

По мнению авторов, в Кузбассе необходимо развивать комплексный и многоуровневый мониторинг природных и техногенных геодинамических и сейсмических процессов, что возможно обеспечить в настоящее время при современном уровне развития науки, техники и технологий. Ключевым направлением формирования указанного подхода является его нацеленность на изучение на основе постановки комплексных продолжительных рядов инструментальных наблюдений. В условиях сложившейся в Кузбассе проблемной ситуации между передовыми технологическими возможностями геофизической и геодезической науки и недостаточностью полноценных теоретических разработок и моделей в области получе-

ния, сбора, регистрации, обработки и анализа информации об изменении состояния земной коры и формировании очагов сейсмических событий требуется разработка методики реализации комплексных и продолжительных инструментальных наблюдений для изучения особенностей геодинамики угольного региона. Теоретическое обоснование предложенной методики выполнено на основе моделирования изменения состояния блока земной коры (что обеспечивает связь его геодинамической и сейсмической активности и является решением научной задачи, имеющей важное социально-экономическое значение в области геодинамической и сейсмической безопасности при освоении недр), снижения риска и уменьшения последствий геодинамических катастроф природного и техногенного характера. Следовательно, тема исследований актуальна и имеет научный и практический интерес.

Методы и материалы

Изучение особенностей геодинамики региона не может быть проведено без установления их генезиса. Именно он определяет трансформацию понятий «техногенная сейсмичность» и «техногенно-тектоническая сейсмичность» в районах освоения угольных месторождений Кузбасса. Поэтому целью исследований является разработка методики реализации комплексных и продолжительных инструментальных наблюдений для выявления особенностей геодинамики Кузбасса. Объектом исследования является геодинамика, а предметом – ее особенности в Кузбассе. Задачи исследования:

- установить проблемную ситуацию в изучении геодинамики Кузбасса;
- обосновать разработку методики реализации комплексных и продолжительных инструментальных наблюдений для выявления особенностей геодинамики в Кузбассе;
- изучить особенности вариаций землетрясений и их приуроченность к блочной структуре земной коры.

Данные сейсмических каталогов Алтае-Саянского региона [25] и Международного сейсмологического центра (ISC) свидетельствуют о том, что до 2005 г. происходило примерно по 1–2 землетрясениям в год с магнитудой $M = 3,5–4,0$, а после 2006 г. возросло

количество сильных событий в год с магнитудой $M = 4,0-5,0$ (табл. 1).

Таблица 1
Рост землетрясений в Кузбассе

Годы	Количество землетрясений	Магнитуда
1991–1998	2	5
1998–2005	1	4,6
2005–2012	6	4,6
2012–2022	9	5,8

Согласно выполненному авторами анализу эта тенденция роста подтверждается инструментальными наблюдениями, увеличением числа станций на исследуемой территории до 20. В табл. 1 не включены сейсмические события меньшей магнитуды, которые, по мнению автора, требуют отдельного и тщательного рассмотрения.

Однако для разработки теории генезиса природных и техногенных геодинамических и сейсмических процессов в условиях освоения угольных месторождений важно установить тренд геодинамической и сейсмической активности региона. Для изучения геодинамической активности региона новейшего периода автором привлечены, в первую очередь, известные материалы его геодинамического районирования (рис. 1) [26], на основе которых установлен условно-стабильный блок земной коры III ранга.

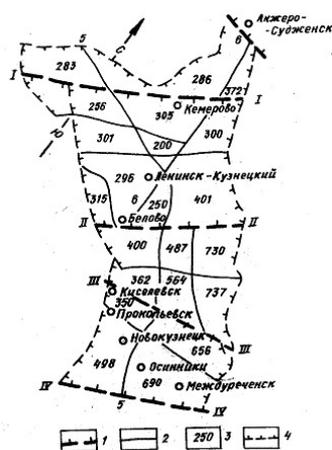


Рис. 1. Результаты геодинамического районирования Кузбасса [26]:

1 – разломы II ранга; 2 – разломы III ранга, выделенные на основе морфоструктурного анализа; 3 – максимальные отметки блоков; 4 – границы Кузбасса

Выделение условно-стабильного блока земной коры авторами выполнено согласно разработанной ими методике как вычисление суммы квадратов разностей отметок каждого блока земной коры с остальными $[vv]$ на основе выполнения критерия $[vv] = \min$ (рис. 2) [27]. Согласно выполненным авторами исследованиям условно-стабильным блоком земной коры является блок 400. Учитывая погрешности m , определения отметок по картографическим материалам H_k доверительный интервал условно-стабильных блоков представим в следующем виде:

$$H_k - 3m \leq H_k \leq H_k + 3m, \quad (1)$$

где H_k – отметки блоков земной коры, определенные при проведении геодинамического районирования по карте масштаба $1 : M$;

m – средняя квадратическая погрешность определения отметки по карте масштаба $1 : M$;

M – знаменатель масштаба карты.

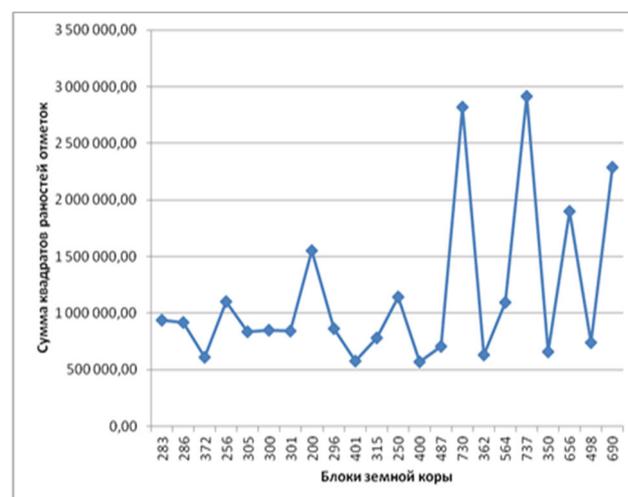


Рис. 2. Оценка условно-стабильного блока земной коры по результатам геодинамического районирования Кузбасса

Среди блоков земной коры III ранга, выделенных при геодинамическом районировании территории Кузбасса, согласно рис. 1, в указанный интервал отнесены следующие: 350, 362, 372, 401, 487, 498. Обобщая кинематику блоков земной коры региона новейшего периода, получаем следующую классификацию (табл. 2).

Таблица 2

Классификация кинематики блоков земной коры Кузбасса в новейший период

Интервалы	Блоки земной коры	Кинематика блоков земной коры в новейший период
334–1069	283, 286, 300, 301, 305, 315, 498	Минимальная
1069–1814	200, 250, 256, 564	Умеренная
1814–2549	690, 656	Повышенная
2549–3284	730, 737	Максимальная

Косвенным подтверждением корреляции геодинамической и сейсмической активности региона новейшего периода, очевидно, могло бы стать доминирование сейсмических событий в блоках 737, 730, характеризующихся максимальными амплитудами движений. Однако вариации сейсмических событий в начале нынешнего века не подтверждают эту гипотезу (табл. 3).

Таблица 3

Вариации сейсмических событий в блоках земной коры в начале нынешнего века в Кузбассе

Годы	Блоки земной коры
2000–2005	400, 362
2005–2012	564, 401
2012–2022	400, 564

Следовательно, возможна корреляционная связь геодинамической и сейсмической активности региона современного периода, как продолжение новейшего, так и техногенного характера. Однако долговременные инструментальные наблюдения, охватывающие всю территорию региона, не проводились. Карта вертикальных движений земной коры (1975) характеризует скорее асейсмичность территории. Вариации газоносности и газообильности в блоках земной коры в Кузбассе сложны для интерпретации ввиду разноглубинности и других факторов, что не обеспечивает однозначность вывода [28]. Предварительные оценки вариаций газоносности и газообильности в бло-

ках земной коры в начале нынешнего века в Кузбассе приведены в табл. 4.

Таблица 4

Вариации газоносности и газообильности в блоках земной коры в начале нынешнего века в Кузбассе

Интервалы (м ³ /т)	Газоносность	Газообильность
0–11,5	296, 350	296, 305, 350, 690
11,5–23,0	305, 250, 690	–
23,0–34,5	–	–
34,5–46,0	498	498

Согласно предварительным оценкам вариаций газоносности и газообильности в блоках земной коры, можно отметить их приуроченность к блокам земной коры, имеющим минимальные движения в новейший период, повышенные движения характерны только для блока 690.

Результаты и обсуждение

Детальный анализ сейсмических событий в блоках земной коры в начале нынешнего века в Кузбассе, выполненный авторами, приведен в табл. 5. Его результаты свидетельствуют об их концентрации в блоке 400 земной коры.

Результаты, приведенные в табл. 2 и 4, свидетельствуют о том, что напряжения новейшего периода в блоках земной коры с максимальными амплитудами вертикальных движений релаксировали, а геодинамическая активность в других группах блоков, с меньшими амплитудами, движений продолжается. Концентрацию сейсмических событий практически в одном блоке земной коры нельзя считать случайной, а, следовательно, он является одним приоритетным для проведения фундаментальных исследований, в качестве которых примем геодинамическую активность и ее связь с сейсмической. Необходимость проведения указанных исследований возникла еще в прошлом веке, при этом авторы считают обязательными при их реализации комплексный и иерархический подходы [29, 30].

Детальный анализ сейсмических событий
в блоках земной коры в начале нынешнего века в Кузбассе

Блок земной коры	Дата, магнитуда	Примечание (время, ч:мин)
400	14.03.2000, 4.1	
	17.06.2010, 3.7	
	18.05.2011, 4.0	
	09.02.2012, 3.1	13:25
	09.02.2012, 2.4	13:56
	09.02.2012, 2.4	15:09
	09.02.2012, 4.6	20:24
	05.03.2013, 4.4	0:30
	19.06.2013, 5.8	6:02
	19.06.2013, 4.3	6:37
	19.06.2013, 3.9	8:11
	19.06.2013, 4.4	13:00
	19.06.2013, 3.6	19:40
	19.06.2013, 3.6	21:53
	19.06.2013, 4.0	23:10
	20.06.2013, 4.3	
	26.06.2013, 4.0	
	22.10.2013, 4.0	
	12.08.2014, 3.8	
	21.09.2014, 4.2	
27.10.2014, 4.1		
01.11.2015, 3.7		
02.02.2016, 3.5		
362	06.04.2002, 4.0	–
564	15.08.2007, 3.1	–
	12.08.2021, 5.0	–
401	23.09.2009, 3.9	–
656	05.07.2022, 4.3	–

Критерий геодинамической активности блока земной коры, предложенный авторами, имеет следующий вид:

$$\theta[t-t_0] \geq 3Ve[t-t_0], \quad (2)$$

где $\theta[t-t_0]$ – относительное изменение во времени (в год) объема (дилатация) блока земной коры, равно

$$\theta[t-t_0] = e_{11}[t-t_0] + e_{22}[t-t_0] + e_{33}[t-t_0];$$

$e_{11}[t-t_0]$, $e_{22}[t-t_0]$, $e_{33}[t-t_0]$ – изменение компонентов деформации блока земной коры;

$Ve[t-t_0]$ – скорость деформации земной коры, не приводящая к проявлению геодинамических явлений, равная $1 \cdot 10^{-6}$ в год.

Изучение иерархии геодинамической активности в этом конкретном случае включает:

- блок земной коры III ранга 400;
- блоки земной коры IV ранга 400-1 и 400-2;

– блоки земной коры V и VI рангов.

Комплексность исследований заключается в применяемых методах и видах исследований:

– картографический, геоморфологический, геологический и геофизический – для уточнения границ блоков земной коры и их идентификации на местности (включая зону влияния разломов и глубину их проникновения);

– геодезический и геофизический – для сбора информации о кинематике блоков земной коры;

– моделирования – для определения динамических параметров блоков земной коры.

Связь геодинамической и сейсмической активности блоков земной коры, по мнению авторов, оценивается изменением плотности потенциальной энергии их деформирования $dE_0[t-t_0]$, которая рассчитывается по полученным компонентам изменений во времени деформаций $e[t-t_0]$. Критерием указанной связи является формирование очага сейсмического явления в блоке земной коры

$$dE_0[t-t_0] \geq 12, \tag{3}$$

где $dE_0[t-t_0] = 0,5E(dE_{0n}[t-t_0] + dE_{0\gamma}[t-t_0]) / (1+\nu)$;

$$dE_{0n}[t-t_0] = \nu\theta^2[t-t_0] / (1-2\nu) + e_{11}^2[t-t_0] + e_{22}^2[t-t_0] + e_{33}^2[t-t_0];$$

$$dE_{0\gamma}[t-t_0] = 0,25[(e_{12}[t-t_0] + e_{21}[t-t_0])^2 + (e_{23}[t-t_0] + e_{32}[t-t_0])^2 + (e_{13}[t-t_0] + e_{31}[t-t_0])^2];$$

E – модуль Юнга исследуемого блока земной коры;

ν – коэффициент Пуассона исследуемого блока земной коры [31].

Инструментальных исследований по определению скоростей кинематики блоков земной коры на территории Кемеровской области не проводилось, но такие исследования необходимы, чтобы установить взаимосвязь сейсмической и геодинамической активности на основе увеличения плотности потенциальной энергии. Ввиду отсутствия натуральных наблюдений кинематики блока 400 земной коры авторами было выполнено моделирование зависимостей:

– изменения во времени дилатации $\theta[t-t_0]$ ($1 \cdot 10^{-6}$ в год);

– изменения плотности потенциальной энергии ($\text{кг} \cdot \text{м} / \text{м}^3$) от его кинематики (рис. 3, 4).

Моделирование выполнено на основе разработанной авторами программы для ПК «ВМ», имеющей свидетельство о государственной регистрации [32]. Результаты, полученные авторами на рис. 3 и 4, свидетельствуют о том, что геодинамическая активность блока земной коры проявляется при скоростях его движения более 10 мм, а формирование очага сейсмического события (достижение плотности потенциальной энергии не менее $12 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{м}^3$) – при 50 мм. Результаты, приведенные на рис. 3 и 4, обосновывают методику проведения исследований, которая включает:

– идентификацию на местности границ блока III ранга 400;

– выбор местоположения и закрепления мобильных и стабильных пунктов, регистрация кинематики указанного блока и изменений гравитационного поля (а также температурного и газового режима разломных зон);

– определение его динамических параметров, контроль выполнения критериев (2) и (3).

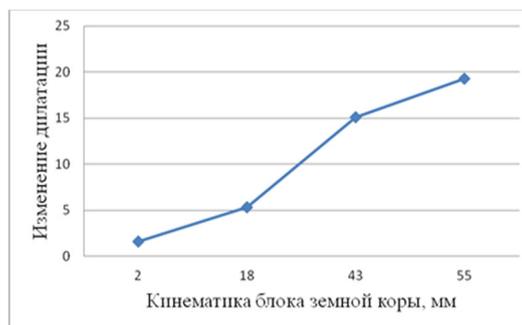


Рис. 3. Зависимость изменения во времени дилатации блока земной коры 400 от его кинематики

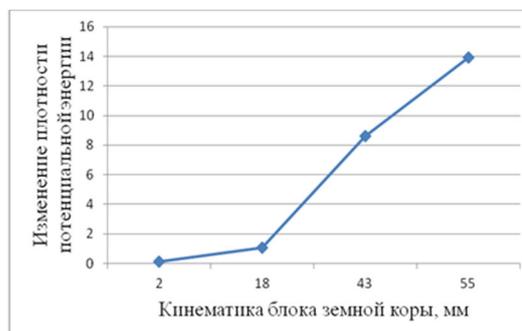


Рис. 4. Зависимость изменения во времени плотности потенциальной энергии блока земной коры 400 от его кинематики

Детальная реализация методики проведения исследований и создание построений геодинамического полигона разработаны и опубликованы авторами в открытой печати [33].

Заключение

На основании выполненных исследований сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что эпизодическими наблюдениями на локальных территориях отдельных месторождений изучить особенности геодинамики на территории Кузбасса проблема-

тично; только комплексный и системный подход, ориентированный на блочное строение земной коры, является единственным путем решения этой сложной научной задачи.

Авторами предложен переход к фундаментальным исследованиям особенностей геодинамики региона на основе комплексных долговременных инструментальных наблюдений для установления взаимосвязи сейсмической и геодинамической активности путем

контроля изменения во времени плотности потенциальной энергии.

Учет особенностей геодинамики региона – это не только инструмент защиты от опасных геодинамических и сейсмических воздействий, но и оптимизация планирования и решения задач развития территории Кузбасса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кнуренко Л. М. Изучение современных вертикальных движений Кузбасса и некоторых закономерностей их проявления в целях регионального прогноза выбросоопасности : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01. – Кемерово, 1975. – 19 с.
2. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Поляков А. Н. Принципы построения систем мониторинга состояния геологической среды на комплексных сейсмо-геодинамических полигонах на горных предприятиях // Уголь. – 2014. – 6. – С. 9–14.
3. Адушкин В. В. Развитие техногенно-тектонической сейсмичности в Кузбассе // Геология и геофизика. – 2018. – 59. – № 5. – С. 709–724.
4. Адушкин В. В. Тектонические землетрясения техногенного происхождения // Физика Земли. – 2016. – № 2. – С. 22–44. – DOI 10.7868/S0002333716020010. – EDN VPTMBV.
5. Брыксин А. А., Селезнев В. С. Влияние техногенных факторов на сейсмичность районов Кузбасса и озера Байкал // Геология и геофизика. – 2012. – 53, № 3. – С. 399–405. – EDN OUNTEF.
6. Лазаревич Т. И., Мазикин В. П., Малый И. А., Ковалев В. А., Поляков А. Н., Харкевич А. С., Шабаров А. Н. Геодинамическое районирование Южного Кузбасса. – Кемерово : Научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела – межотраслевой научный центр ВНИМИ. Кемеровское Представительство, 2006. – 181 с.
7. Батугин А. С. К механизму землетрясений 25.04.1997 и 27.04.1997 на севере Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 2. – С. 185–189. – EDN SCLBLL.
8. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Шевкунова Е. В., Подкорытова В. Т. Техногенная сейсмичность разрезов Кузбасса (Бачатское землетрясение 18 июня 2013) // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2014. – № 2. – С. 41–46. – EDN SMICZJ.
9. Колмогоров В. Г., Калюжин В. А. Приповерхностные деформации в районе Таштагольского геодинамического полигона // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 15–19. – EDN UXVXOD.
10. Леонтьев А. В., Лобанова Т. В., Линдин Г. Л., Лобанов С. А. Использование результатов геодинамического мониторинга для оценки напряженности шахтных полей // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 220–225.
11. Мазуров Б. Т., Лобанова Т. В., Елшина Т. Е., Абжапарова Д. А. Оценка современной геодинамической ситуации Таштагольского железорудного месторождения // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 24–31. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-24-31. – EDN CGDARS.
12. Яковлев Д. В., Лазаревич Т. И., Цирель С. В. Природно-техногенная сейсмичность Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – 6 – С. 20–34. – EDN RRUGVN.
13. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В. Бачатское техногенное землетрясение 18 июня 2013 г. с $M_L = 6.1$, $I_0 = 7$ (Кузбасс) // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 48–61. – DOI 10.35540/2686-7907.2020.1.05. – EDN NFOYQV.
14. Опарин В. Н., Сашурин А. Д., Кулаков Г. И., Леонтьев А. В. Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. – Новосибирск : СО РАН, 2008. – 449 с.

15. Парамонов С. С., Каппушев Д. З., Манукян Т. А., Евлоев Х. Ю., Барсегян Е. А. Техногенная сейсмичность в районе Ленинского каменноугольного месторождения // Горная промышленность. – 2022. – № 6. – С. 131–136. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-6-131-136. – EDN CGFDQW.
16. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Колесников Ю. И. Промышленные взрывы и техногенная сейсмичность // Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования. – Новосибирск : СО РАН. – 2008. – С. 228–366.
17. Еманов А. А., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В. Одновременное воздействие открытых и подземных горных работ на недра и наведенная сейсмичность // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2017. – Т. 44, № 4. – С. 51–62. – DOI 10.21455/VIS2017.4-3. – EDN ZXWEJL.
18. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В. Техногенное Бачатское землетрясение 18.06.2013 в Кузбассе – сильнейшее в мире при добыче твердых полезных ископаемых // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 34–60. – DOI 10.21455/VIS2016.4-3. – EDN XRJCMB.
19. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Шевкунова Е. В., Ворона У. Ю., Серезников Н. А. Сейсмический эффект промышленных взрывов и основные закономерности формирования и развития сейсмичности около шахт и разрезов Кузбасса // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2018. – № 3. – С. 57–72. – DOI 10.25558/VOSTNII.2018.7.52.008. – EDN XZHSH.
20. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Корабельщиков Д. Г., Дураченко А. В. Система мониторинга наведенной сейсмичности Кузбасса и триггерные эффекты в развитии сейсмического процесса // Триггерные эффекты в геосистемах. Материалы III Всероссийского семинара-совещания. – М. : ГЕОС, 2015. – С. 190–199.
21. Адушкин В. В. Триггерная сейсмичность Кузбасса // Триггерные эффекты в геосистемах: материалы Третьего Всероссийского семинара-совещания. – М. : ГЕОС, 2015. – С. 8–29.
22. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Фатеев А. В., Лескова Е. В., Семин А. Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12, № 1. – С. 49–64.
23. Рогожин Е. А., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С. О природе сейсмических активизаций в Кузбассе // Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Материалы конференции. – М. : РУДН, 2017. – С. 554–556. – EDN YOIEDL.
24. Кочарян Г. Г., Будков А. М., Кишкина С. Б. О генезисе Бачатского землетрясения 2013 года // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 741–759. – DOI 10.5800/GT-2019-10-3-0439. – EDN SNOELE.
25. Подкорытова В. Г., Денисенко Г. А., Еманов А. А., Манушина О. А., Подлипская Л. А., Шаталова А. О., Шевелева С. С., Шевкунова Е. В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Алтай и Саяны // Землетрясения России в 2019 году. – Обнинск : ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 144–146.
26. Геодинамическое районирование недр. – Л. : ВНИМИ, 1990. – 129 с.
27. Соловицкий А. Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / под ред. П. В. Егорова. – Кемерово : ГУ КузГТУ, 2003. – 260 с. – ISBN 5-89070-343-9. – EDN QMXSKZ.
28. Опарин В. Н., Адушкин В. В., Киряев Т. А., Потапов В. П. Региональная кластеризация угольных месторождений Кузбасса по газодинамической активности. Часть II: Влияние геотермических, геодинамических и физико-химических процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – 10. – С. 5–29. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-10-0-5-29. – EDN VKKLIK.
29. Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. О методологическом аспекте геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры при освоении недр Кузбасса // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 20–33. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-2-20-33. – EDN ZNXKQX.
30. Карпик А. П., Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. Новый этап развития геодезии – переход к изучению деформаций блоков земной коры в районах освоения месторождений // Вестник СГГА. – 2013. – 3. – № 23. – С. 3–9. – EDN RDTMOT.

31. Соловицкий А. Н. Геодинамический анализ: прикладная динамическая геодезия. – Кемерово: КузГТУ, 2001. – 158 с.

32. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ ВМ № 2004610007 Российская Федерация / А. Н. Соловицкий; заявитель и правообладатель Кузб. гос. техн. ун-т (RU); дата поступления 22.10.2003; дата регистрации 05.01.2004.

33. Соловицкий А. Н. О фундаментальной задаче геодинамики угольного месторождения при проведении геодезического мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – 65. – № 2. – С. 147–151. – DOI 10.30533/0536-101X-2021-65-2-147-151. – EDN QOWYRK.

Об авторах

Александр Николаевич Соловицкий – доктор технических наук, профессор кафедры геологии и географии.

Анатолий Иванович Каленицкий – доктор технических наук, профессор кафедры космической и физической геодезии.

Получено 30.01.2024

© А. Н. Соловицкий, А. И. Каленицкий, 2025

Features of the geodynamics of Kuzbass and methods of its study

A. N. Solovitskiy¹, A. I. Kalenizkiy²

¹Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: san.mdig@mail.ru

Abstract. Separate study of geodynamics and seismicity in Kuzbass has been established, with the dominance of the seismic method noted. In the current conditions, there is a need to develop new models to identify geodynamic features in Kuzbass based on comprehensive and long-term instrumental observations, which is an important scientific task. Therefore, the purpose of the research is to study the features of geodynamics and methods for its study in Kuzbass, including the relationship with the block structure of the earth's crust. To achieve this goal, it is proposed to conduct fundamental research based on long-term comprehensive instrumental observations taking into account the hierarchy of the earth's crust structure, which ensures the integration of interaction between related Earth sciences (seismology, geophysics, geodesy, geodynamics and geomechanics). The practical use of the research results is to expand the use of geodetic methods to study the features of the region's geodynamics.

Keywords: geodynamic features, geodynamic and seismic processes, earthquake, geodynamic and seismic activity, crustal block

REFERENCES

1. Knurenko, L. M. (1975) Study of modern vertical movements of Kuzbass and some patterns of their manifestation for the purpose of regional forecast of outburst hazard.: abstract of thesis. ...cand. tech. Sciences: 05.26.01. *Kemerovo*, 19 p. [in Russian].
2. Yakovlev, D. V., Lazarevich, T. I. & Polyakov, A. N. (2014) Principles of constructing systems for monitoring the state of the geological environment at complex seismic-geodynamic sites at mining enterprises. *Ugol' [Coal]*, 6, 9–14 [in Russian].
3. Adushkin, V. V. (2018) Development of technogenic-tectonic seismicity in Kuzbass. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, 59 (5), 709-724 [in Russian].
4. Adushkin, V. V. (2016) Tectonic earthquakes of man-made origin. *Fizika Zemli [Physics of the Earth]*, 2, 22-44. EDN VPTMBB [in Russian].
5. Bryksin, A. A. & Seleznev, V. S. (2012) Influence of technogenic factors on seismicity in the regions of Kuzbass and Lake Baikal. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, 53 (3), 399-405. EDN OUHTEF [in Russian].

6. Lazarevich, T. I., Mazikin, V. P., Malyi, I. A., Kovalev, V. A., Polyakov, A. N., Kharkevich, A. S. & Shabarov, A. N. (2006) Geodynamic zoning of Southern Kuzbass. *Kemerovo: Nauchno-issledovatel'skiy institut gornoy geomekhaniki i marksheyderskogo dela – mezhotraslevoy nauchnyy tsentr VNIMI. Kemerovskoye Predstavitel'stvo [Kemerovo: Research Institute of Mining Geomechanics and Mine Surveying – VNIMI interdisciplinary scientific center. Kemerovo Representative Office]*, 2006, 181 p. [in Russian].
7. Batugin, A. S. (2006) On the mechanism of the earthquakes of 04/25/1997 and 04/27/1997 in the north of Kuzbass. *Gornyy informacionno-analiticheskiy byulleten' [Mining Informational Analytical Bulletin]*, 2, 185-189. EDN SCLBLL [in Russian].
8. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Fateev, A. V., Leskova, E. V., Shevkunova, E. V. & Podkorytova, V. T. (2014) Technogenic seismicity of Kuzbass sections (Bachat earthquake on June 18, 2013). *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh [Physical and technical problems of mineral development]*, 2, 41-46. EDN SMICZJ [in Russian].
9. Kolmogorov, V. G. & Kalyuzhin, V. A. (2015) Near-surface deformations in the area of the Tashta-Gol geodynamic test site. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 5/S, 15–19. EDN UXVXOD [in Russian].
10. Leontyev, A. V., Lobanova, T. V., Lindin, G. L. & Lobanov, S. A. (2017) Using the results of geodynamic monitoring to assess the intensity of mine fields. *Interexpo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* pp. 220–225. [in Russian].
11. Mazurov, B. T., Lobanova, T. V., Elshina, T. E. & Abzhaparova, D. A. (2021) Assessment of the current geodynamic situation of the Tashtagol iron ore deposit. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26 (4), 24–31. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-24-31. EDN CGDARS [in Russian].
12. Yakovlev, D. V., Lazarevich, T. I. & Tsirel, S. V. (2013) Natural-technogenic seismicity of Kuzbass. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh [Physical and technical problems of mineral development]*, 6, 20–34. EDN RRUGVN [in Russian].
13. Emanov, A. F., Emanov, A. A. & Fateev, A. V. (2020) Bachatskoe man-made earthquake on June 18, 2013 with $M_L=6.1$, $I_0=7$ (Kuzbass). *Rossiyskiy seismologicheskiy zhurnal [Russian Seismological Journal]*, 2 (1), 48–61. EDN NFOYQV [in Russian].
14. Oparin, V. N., Sashurin, A. D., Kulakov, G. I., & Leontiev, A. V. Modern geodynamics of the rock mass of the upper part of the lithosphere: origins, parameters, impact on subsoil use objects. *Novosibirsk: Publishing House SB RAS*, 449 p. [in Russian].
15. Paramonov, S. S., Kappushev, D. Z., Manukyan, T. A., Evloev, Kh. Yu. & Barseghyan, E. A. (2022) Technogenic seismicity in the area of the Leninsky coal deposit. *Gornaya promyshlennost' [Mining Industry]*, 6, 131–136. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-6-131-136>. DOI 10.30686/1609-9192-2022-6-131-136. EDN CGFDQW [in Russian].
16. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Fateev, A. V., Leskova, E. V. & Kolesnikov, Yu. I. (2008) Industrial explosions and technogenic seismicity. *Sovremennaya geodinamika massiva gornyx porod verkhney chasti litosfery: istoki, para-metry, vozdeystviye na ob'yekty nedropol'zovaniya. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN. [Modern geodynamics of the rock mass of the upper part of the lithosphere: origins, parameters, impact on subsoil use objects (pp. 228-366). Novosibirsk: Publishing house SB RAS]* [in Russian].
17. Emanov, A. A., Emanov, A. A., Fateev, A. V. & Leskova, E. V. (2017) Simultaneous impact of open-pit and underground mining on the subsoil and induced seismicity. *Voprosy inzhenernoy seismologii. [Questions of engineering seismology]*, 44 (4), 51–62. DOI 10.21455/VIS2017.4-3. EDN ZXWEJL [in Russian].
18. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Fateev, A. V. & Leskova, E. V. (2016) Technogenic Bachatskoye earthquake of 06/18/2013 in Kuzbass - the strongest in the world during the extraction of solid minerals. *Voprosy inzhenernoy seismologii [Engineering Issues seismology]*, 43 (4), 34–60. DOI 10.21455/VIS2016.4-3. EDN XRJCMB [in Russian].
19. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Fateev, A. V., Shevkunova, E.V., Vorona, U. Yu. & Serezhnikov, N. A. (2018) Seismic effect of industrial explosions and the main patterns of formation and development of seismicity near mines and open-pit mines of Kuzbass. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti. [Vestnik of the Scientific Center of the Eastern Research Institute for Industrial and Environmental Safety]*, 3, 57–72. DOI 10.25558/VOSTNII.2018.7.52.008. EDN XZHSH [in Russian].

20. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Fateev, A. V., Leskova, E. V., Korabelshchikov, D. G. & Durachenko, A. V. (2015) Monitoring system for induced seismicity in Kuzbass and trigger effects in the development of the seismic process. Trigger effects in geosystems. *Triggernyye efekty v geosistemakh. Materialy III Vserossiyskogo seminar-soveshchaniya [Materials of the III All-Russian seminar-meeting (pp. 190-199). M.: GEOS Publishing House]* [in Russian].
21. Adushkin, V. V. (2015) Trigger seismicity of Kuzbass. *Triggernyye efekty v geosistemakh: materialy Tret'yego Vserossiyskogo seminar-soveshchaniya. [Trigger effects in geosystems: materials of the Third All-Russian seminar-meeting]* (pp. 8-29). Moscow: GEOS [in Russian].
22. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Fateev, A. V., Leskova, E. V. & Semin, A. Yu. (2009) Seismic activations during coal mining in Kuzbass. *Fizicheskaya mezomekhanika. [Physical mesomechanics]* , 12 (1), 49–64 [in Russian].
23. Rogozhin, E. A., Ovsyuchenko, A. N. & Larkov, A. S. (2017) On the nature of seismic activations in Kuzbass. In *Sbornik materialov Sergeevskie readings. Geoecological safety of the development of mineral deposits. M.: RUDN Publishing House.* pp. 554–556. EDN YOIEDL [in Russian].
24. Kocharyan, G. G., Budkov, A. M. & Kishkina, S. B. (2019) On the genesis of the 2013 Bachat earthquake. *Geodinamika i tektonofizika [Geodynamics and tectonophysics]*, 10 (3), 741–759. DOI 10.5800/GT-2019-10-3-0439. EDN CHOELE [in Russian].
25. Podkorytova, V. G., Denisenko, G. A., Emanov, A. A., Manushina, O. A., Podlipskaya, L. A., Shatalova, A. O., Sheveleva, S. S. & Shevkunova, E. V. (2021) Catalogs of earthquakes for various regions of Russia. Altai and Sayans. *Zemletryaseniya Rossii v 2019 godu [Earthquakes in Russia in 2019]* (pp. 144-146). Obninsk: FRC EGS RAS [in Russian].
26. Geodynamic zoning of suibsol. (1990) *Leningrad: VNIMI*, 1990. 129 p [in Russian].
27. Solovitskiy, A. N. (2003) *Integral'nyj metod kontrolya napryazhennogo sostoyaniya blochnogo massiva gornyh porod [The integral method of controlling the stress state of a block rock massif]*. P. V. Egorov (Ed.). Kemerovo: GU KuzGTU Publ., 260 p. ISBN 5-89070-343-9. EDN QMXSKZ [in Russian].
28. Oparin, V. N., Adushkin, V. V., Kiryaev, T. A. & Potapov, V. P. (2018) Regional clustering of Kuzbass coal deposits by gas-dynamic activity. Part II: Influence of geothermal, geodynamic and physical-chemical processes. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten' [Mining Informational Analytical Bulletin]*, 10, 5–29. DOI 10.25018/0236-1493-2018-10-0-5-29. EDN VKKLIK [in Russian].
29. Kalenitskiy, A. I. & Solovitskiy, A. N. (2019) On the methodological aspect of geodetic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust during the development of the Kuzbass subsoil. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24 (4), 20–33. – Doi: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-20-33. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-2-20-33. EDN ZNXKQX [in Russian].
30. Karpik, A. P., Kalenitskiy, A. I. & Solovitskiy, A. N. (2013) A new stage in the development of geodesy – the transition to the study of deformations of blocks of the earth's crust in areas of deposit development. *Vestnik SGA [Vestnik SSGA]*, 3 (23), 3–9. EDN RDTMOT [in Russian].
31. Solovitskiy, A. N. (2001) Geodynamic analysis: Applied dynamic geodesy. *Kemerovo: KuzSTU*, 2001, 158 p [in Russian].
32. *Certificate of state registration of the computer program BM No. 2004610007 Russian Federation.* A. N. Solovitskiy; applicant and copyright holder Kuzb. state tech. University (RU); date of admission 10.22.2003; registration date 01.05.2004 [in Russian].
33. Solovitskiy, A. N. (2021) On the fundamental problem of geodynamics of a coal deposit when conducting geodetic monitoring of the stress-strain state of the earth's crust. *Izvestia vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 65(2), 147 –151. DOI 10.30533/0536-101X-2021-65-2-147-151. EDN QOWYRK [in Russian].

Author details

Aleksandr N. Solovitskiy – D. Sc., Professor, Department of Geology and Geography.

Anatolij I. Kalenizkiy – D. Sc., Professor, Department of Space and Physical Geodesy.

Received 30.01.2024

© A. N. Solovitskiy, A. I. Kalenizkiy, 2025