

УДК 551.432

ОЦЕНКА БАЗИСОВ ЭРОЗИИ, СФОРМИРОВАННЫХ В НЕОТЕКТОНИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССЕ

¹Горн А.А., ²Фрибус И.В., ¹Легощин К.В., ¹Лешукова М.К.,
¹Орозбаев Б.З., ¹Конончук Ф.О., ¹Лешуков Т.В.

¹ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово,
e-mail: tvleshukov@kemsu.ru;

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Москва,
e-mail: fribus.ivan.viktorovich@gmail.com

В статье представлены результаты морфометрической оценки базисов эрозии речной сети в программе ArcGIS. В качестве объекта исследований выбрана территория Кемеровской области – Кузбасса. Исходным материалом для морфометрического анализа была модель SRTM. В результате наших исследований для территории Кемеровской области были определены 9 локальных базисов эрозии и рассчитаны их средние высоты в пределах тектонических зон. Наиболее высокие отметки базисов эрозии характерны для Батеневской зоны, которая располагается на юге области, а наиболее низкие – для расположенной на севере Нижнетомской зоны. Скорость неотектонических движений определялась по разнице базисов эрозии разных порядков. Наибольшая скорость тектонических процессов характерна для тектонических зон, расположенных на юго-востоке, юге и западе области. Север, северо-восток и северо-запад в неоген-четвертичное время менее активны, что четко выражено в разнице базисов эрозии 1 и 9 порядка. Согласно нашим результатам, для исследуемой территории характерна заметная вариация показателя «разница базисов эрозии» во времени, что говорит о существовании в неотектонический период развития временных интервалов роста и снижения тектонической активности. Отмечено, что неотектоническая активность территории Кемеровской области – Кузбасса в момент формирования базисов эрозии одного порядка и смежных порядков в разных тектонических зонах существенно отличается. Также остается неясной связь более древних палеозойско-мезозойских структур с неотектоническими процессами, что требует дальнейших исследований. Программа ArcGIS продемонстрировала себя удобным и оправданным средством для решения исследовательских задач в морфометрии.

Ключевые слова: Кемеровская область – Кузбасс, морфометрический анализ, базис эрозии, морфометрия, неотектоника, геоинформационные системы

EROSION BASINS ASSESMENT OF NEOTECTONICS IN THE KEMEROVO REGION-KUZBASS

¹Gorn A.A., ²Fribus I.V., ¹Legoshchin K.V., ¹Leshukova M.K.,
¹Orozbaev B.Z., ¹Kononchuk F.O., ¹Leshukov T.V.

¹Kemerovo State University, Kemerovo, *e-mail: tvleshukov@mail.ru;*

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, *e-mail: fribus.ivan.viktorovich@gmail.com*

The article presents the results of a morphometric assessment of the erosion bases of the river network in the ArcGIS. The territory of the Kemerovo region-Kuzbass was chosen as the research object. The SRTM model was used as a starting material for morphometric analysis. As a result of our research, for the territory of the Kemerovo region, 9 local erosion bases were determined and their average heights within the tectonic zones were calculated. The highest levels of erosion bases are typical for the Batenevskaya zone, which is located in the south of the region, and the lowest for the Nizhnetomskaya zone located in the north. The speed of neotectonic movements is typical for tectonic zones located in the southeast, south and west of the region. The north, north-east and north-west in the Neogene-Quaternary are less active, which is clearly pronounced in the difference in the erosion bases of orders 1 and 9. According to our results, the study area is characterized by a noticeable variation in the indicator “difference in erosion bases” in time, which indicates the existence in the neotectonic period of development of time intervals of growth and decrease in tectonic activity of the region. It was also noted that the neotectonic activity of the Kemerovo region-Kuzbass at the time of the formation of erosion bases of the same order and adjacent orders in different tectonic zones differs significantly. Also, the connection between the more ancient Paleozoic-Mesozoic structures and neotectonic processes remains unclear, which requires further research. ArcGIS has proven itself to be a convenient and justified tool for solving research problems in morphometry.

Keywords: Kemerovo region-Kuzbass, morphometric analysis, erosional basis, morphometry, neotectonics, geographic information systems

Рельеф – совокупность положительных с эндогенными и экзогенными процессами. Многие исследования подтверждают, что неотектонические (неоген-четвертичные) движения находят свое отражение в особенностях и отрицательных форм земной поверхности, различающихся по размерам, очертаниям и происхождению, которые связаны

ностях рельефа местности и могут быть изучены геоморфологическими методами [1-3].

С развитием цифровых технологий стало возможным анализировать различные характеристики рельефа с помощью геоинформационных систем (ГИС). В настоящее время программное обеспечение ГИС предоставляет широкий спектр возможности работы с данными, в том числе позволяет выполнять морфометрический анализ, являющийся методом геоморфологии. Различные методы морфометрического анализа рельефа используются как за рубежом, так и в пределах нашей страны. В ходе исследования [4] был проведен морфометрический анализ бассейна р. Идемили на юго-востоке Нигерии с использованием геопространственных инструментов в ArcMap. Исследование продемонстрировало, что данные методы и цифровая модель рельефа (ЦМР) являются важными инструментами для характеристики морфометрии водосборных бассейнов, особенно в регионах с ограниченным объемом данных. Также ГИС позволяют выполнять исследования, основанные на сочетании морфотектонических, геоморфологических и геологических параметров. Например, исследование территории северной части острова Эвия (Центральная Греция), в котором используется пространственный многокритериальный анализ решений (MCDA) в среде ArcGIS, позволило построить карту пространственного распределения значений индекса деформаций неотектонического ландшафта (Neotectonic Landscape Deformation Index (NLDI)) и предположить его связь с основными активными разломами [5]. В работе [6] был проведен морфотектонический и морфометрический анализ Ферозпурского дренажного бассейна, расположенного в Гималаях между хребтами Пир-Панджал и Большие Гималаи. В среде ArcGIS были пространственно оценены различные параметры водосборного бассейна и его водотоков (порядок водотоков, коэффициент удлинения бассейна, асимметрия бассейна и др.), что позволило определить тектоническую активность данной территории. Изучение гидрографической сети, водосборных бассейнов, водотоков и их характеристик дает возможность оценить неотектонические процессы, в том числе их динамические параметры, а ГИС-среда позволяет ее упростить и повысить ее объективность [7-9]. Все вышеперечисленные исследования подтверждают эффективность использования

морфометрического и морфотектонического анализов в программной среде ГИС.

Для территории Кемеровской области и отдельных ее частей также производились морфометрические исследования [10-12]. Результатами работ были геодинамическое районирование, описание неотектонического строения, построения структурно-геоморфологических карт на территории Кузнецкого бассейна и южной части области.

В нашем исследовании, проведенном для Кемеровской области в среде ArcGIS, мы акцентируем внимание на морфометрическом анализе базисов эрозии речной сети, поскольку эти морфологические поверхности имеют, как известно, тесную связь с неотектоническими процессами [13]. Данное исследование позволит уточнить неоген-четвертичный этап развития территории Кемеровской области – Кузбасса.

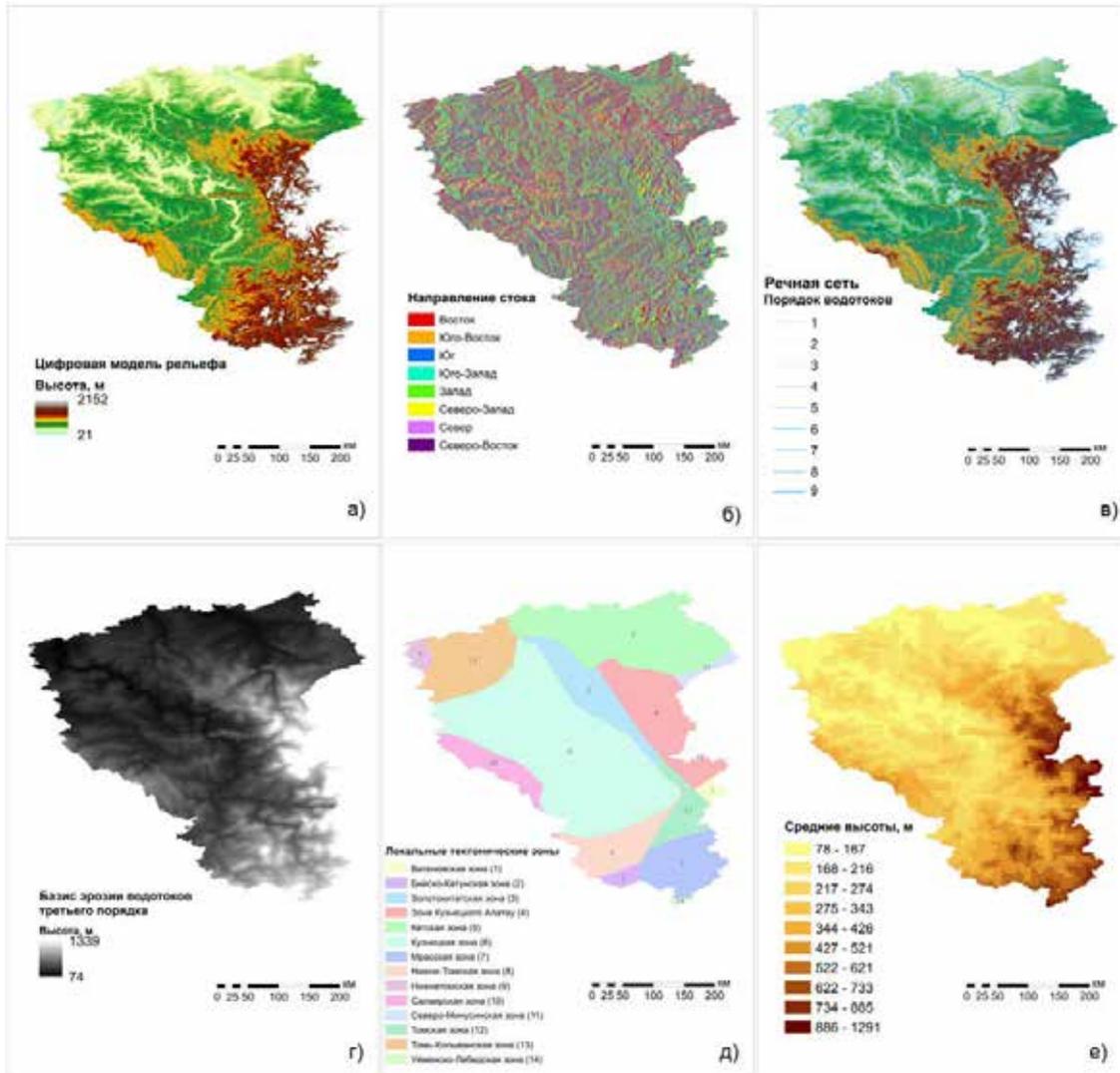
Материалы и методы исследования

Кемеровская область – Кузбасс расположена на юго-востоке Западной Сибири. Большую часть местности занимает горный и низкогорный рельеф (Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Салаирский кряж), остальную – равнины (Западно-Сибирская равнина, Кузнецкая котловина). Территория обладает большой разностью высот, наивысшей точкой является гора Верхний Зуб (2178 м), наименьшая высотная точка находится в долине реки Томь на границе с Томской областью. В геологическом аспекте северо-восток области является частью Западно-Сибирской эпимезозойской плиты, остальную часть занимает Алтае-Саянская складчатая область. Вышенаписанное может говорить о потенциальном существовании различий в неотектонических движениях и территориальной дифференциации интенсивности их проявлений.

Исходным материалом были цифровые модели рельефа Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [14] фрагментами размером 1x1 градус с разрешением 90 метров, которые предварительно были подобраны и сшиты, для всей территории Кемеровской области.

В качестве программы для морфометрического анализа базисов эрозии речной сети мы использовали ArcGIS 10.3.1.

Базисы эрозии представляют собой важные индикаторы неотектонических событий. Для получения базисов эрозии был выполнен ряд операций, также представленных в работе [13].



Результаты ряда операций, проведенных в ArcGIS:
 а) ЦМР Кемеровской области; б) направление стока; в) речная сеть;
 г) базис эрозии водотоков третьего порядка; д) карта тектонического районирования;
 е) усредненные данные по высоте базисной поверхности 3-го порядка

1. Гидрологический анализ. Был произведен с помощью стандартных функций среды ArcMap – «Гидрология», а именно были определены направления водотоков, локальные понижения и их заполнение, суммарный сток и порядки водотоков. Далее была создана векторная модель водотоков.

2. Подготовка данных для построения базисов эрозии. Были последовательно использованы инструменты раздела ArcToolbox: «Вершины объекта в точки» и «Извлечь значения в точки».

3. Построение базисов эрозии. Были использованы инструменты «Топо в Растр» из группы инструментов «Интерполяция».

Для статистической обработки была построена сетка, состоящая из 4881 полигона, в которые были извлечены усредненные данные по высоте базисных поверхностей разных порядков (рисунок).

Дальнейший статистический анализ (среднее, дисперсия, стандартная ошибка и др.), выполненный в надстройке MS Excel «пакет анализа», производился в границах локальных тектонических зон, выделенных на картосхеме тектонического районирования Кемеровской области, представленной на сайте ВСЕГЕИ и составленной по материалам «Схемы тектонического районирования России» (рис. 1д) [15]. Названия ло-

кальных тектонических зон соответствуют приведенной выше картосхеме тектонического районирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Неоднородность проявления неотектонических движений выражается в больших различиях в высотах базисных поверхностей. Высота базиса эрозии для водотоков первого порядка варьируется от 142,16 м в пределах Нижнетомской зоны на северо-западе области и до 980,86 м в пределах Батеневской зоны на юго-востоке, со средним значением по региону 350,05 м (табл. 1).

Высота базиса эрозии водотоков девятого порядка варьируется от 80,88 м в пределах Нижнетомской зоны на северо-западе области и до 172,42 м в пределах Бийско-Катунской зоны на юго-западе, со средним значением по региону 135,54 м. Амплитуда базисов эрозии 8 и 9 порядков составляет $\approx 100-150$ метров, а амплитуда базисов 1 и 2 порядков много больше и составляет $\approx 600-800$ метров. Таким образом, формирование новых локальных базисов эрозии происходит на разном гипсометрическом уровне, что говорит о разных по интенсивности неотектонических процессах в предшествующих периодах. Стоит отметить, что водотоки седьмого-девятого порядков приурочены к крупным рекам области – Томь, Иня, Кия, Яя.

В целом для водотоков 2-6 порядков тенденция увеличения высоты базиса эро-

зии с севера-запада-севера-востока на юго-восток-юг, а для 7-9 порядков на юго-запад-юго-восток-юг, сохраняется, что говорит о нарастании интенсивности восходящих движений по данным направлениям в неоген-четвертичное время (табл. 1).

Разница базисов эрозии водотоков разных порядков позволяет количественно оценить тектоническую активность блоков земной коры. На территории Кемеровской области в момент формирования водотоков 1-6 порядков (табл. 2) наименее активными территориями были Нижнетомская (32,8 м), Кетская (42,84 м), Северо-Минусинская (65,31 м), Кузнецкая (69,20 м), Томь-Колыванская (72,72 м) зоны, расположенные в северной, северо-западной и северо-восточной частях области, наиболее активными – Батеневская (497,3 м), зона Кузнецкого Алатау (264,5 м), Уйменско-Лебедская (259,9 м) и Томская (258 м) зоны, расположенные на востоке, юго-востоке области. Во время формирования водотоков 7-9 порядков наименее активной была Нижнетомская (6,77 м), Томь-Колыванская (14,40 м), Кетская (24,58 м) и Кузнецкая (30,88 м) зоны, наиболее активными – Уйменско-Лебедская (342,35 м), Мрасская (270,14 м), Батеневская (234,06 м) зоны. В момент формирования 9-8 порядков Нижнетомская зона, расположенная на северо-западе области, испытывала нисходящие движения (-0,17 м).

Таблица 1

Характеристики базисов эрозии рек 1-9 порядков в пределах локальных тектонических зон

Локальная тектоническая зона	Базисы n-го порядка (Бп). Средняя высота, м								
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8	Б9
Томь-Колыванская	192,57	186,11	175,79	163,99	142,01	119,86	104,91	93,04	90,51
Нижнетомская	142,16	136,01	131,41	125,47	114,58	109,35	87,65	80,71	80,88
Кузнецкая	261,91	251,42	237,44	221,53	204,96	192,71	170,74	152,53	139,86
Кетская	202,22	198,01	191,67	182,51	171,11	159,38	143,59	141,32	119,00
Салаирская	348,80	339,69	325,77	304,63	269,44	227,63	171,91	136,98	132,71
Бийско-Катунская	575,56	549,57	507,07	468,67	414,94	401,61	363,51	217,19	172,42
Уйменско-Лебедская	869,15	837,16	802,81	759,92	694,25	609,23	514,33	217,97	171,97
Северо-Минусинская	378,33	369,90	355,87	339,71	326,49	313,02	244,58	222,17	139,61
Мрасская	669,29	637,51	594,29	553,87	517,86	479,21	440,68	225,36	170,54
Батеневская	980,86	925,54	850,81	758,40	642,77	483,57	394,86	251,78	160,80
Нижне-Томская	453,43	432,17	405,17	373,99	348,50	315,89	296,75	221,29	172,00
Золотокитатская	334,06	319,02	298,36	278,58	264,87	227,73	151,36	138,66	125,60
Томская	614,87	575,11	524,71	464,82	403,75	356,91	320,02	229,95	164,53
Кузнецкого Алатау	640,12	606,95	563,21	516,29	455,46	375,66	238,84	191,78	143,15
Вся территория региона	350,05	335,23	315,08	292,26	266,31	238,54	199,61	160,19	135,54

Таблица 2

Разница базисов эрозии рек 1-9 порядков в пределах локальных тектонических зон

Локальная тектоническая зона	Разница базисов n-го порядка (B _n -B _{n+1}), м							
	B1-B2	B2-B3	B3-B4	B4-B5	B5-B6	B6-B7	B7-B8	B8-B9
Томь-Кольванская	6,46	10,31	11,80	21,99	22,15	14,95	11,86	2,53
Нижнетомская	6,16	4,60	5,94	10,89	5,24	21,69	6,94	- 0,17
Кузнецкая	10,49	13,98	15,91	16,56	12,26	21,97	18,22	12,66
Кетская	4,21	6,34	9,15	11,41	11,73	15,79	2,27	22,32
Салаирская	9,11	13,92	21,14	35,19	41,82	55,72	34,93	4,27
Бийско-Катунская	26,00	42,50	38,40	53,73	13,34	38,09	146,33	44,77
Уйменско-Лебедская	31,99	34,35	42,90	65,66	85,02	94,91	296,36	46,00
Северо-Минусинская	8,44	14,03	16,16	13,22	13,47	68,44	22,41	82,56
Мрасская	31,78	43,22	40,42	36,01	38,65	38,53	215,33	54,82
Батеневская	55,32	74,73	92,42	115,63	159,20	88,71	143,07	90,98
Нижне-Томская	21,26	27,01	31,18	25,49	32,61	19,15	75,46	49,29
Золотокитатская	15,04	20,66	19,78	13,71	37,14	76,37	12,70	13,06
Томская	39,76	50,40	59,88	61,07	46,84	36,89	90,07	65,42
Кузнецкого Алатау	33,16	43,75	46,91	60,83	79,80	136,82	47,06	48,64
Вся территория	14,82	20,15	22,81	25,95	27,78	38,93	39,42	24,65

Полученные результаты демонстрируют, что время пиков скоростей неоген-четвертичных движений может различаться между локальными тектоническими зонами. Например, в момент формирования базисов эрозии 5-6 порядков в пределах Бийско-Катунской зоны скорость движений составляла ≈ 13 метров, а в остальные периоды была существенно выше. А для Уйменско-Лебедской зоны снижение скоростей для аналогичных базисов эрозии не фиксируется. Для нее, наоборот, происходит постоянное наращивание темпов поднятия территории, за исключением базиса эрозии 9 порядка. Одновременность формирования базисов эрозии в пределах локальных тектонических зон требует дополнительных исследований, в том числе другими морфометрическими и статистическими методами. В этом случае разрешающая способность ЦМР будет недостаточной, поскольку, вероятнее всего, перемещение блоков земной коры в пределах локальных тектонических зон будет иметь меньшую амплитуду.

В целом наше исследование согласуется с результатами работы Черкаса О.В. [12]. В ней отмечается рост неотектонической (неоген-четвертичной) активности в южной, восточной и западной окраинных частях Кузнецкого прогиба. Также обрамляющие его структуры испытывали на себе тектоническую активизацию. Тем не менее остается неясным, насколько неотектониче-

ские процессы однородны в пределах древних тектонических структур, иначе говоря, унаследуют ли они их геодинамику.

Выводы

Проведенная морфометрическая оценка базисов эрозии речной сети территории Кемеровской области – Кузбасса в среде ArcGIS продемонстрировала, что:

- ГИС в морфометрическом анализе является удобным и оправданным средством для решения исследовательских задач;
- неотектоническая (неоген-четвертичная) активность региона возрастает по направлениям юга-востока, юга и запада;
- в неотектонический (неоген-четвертичный) период развития исследуемой территории существовали временные интервалы роста тектонической активности и ее снижения, что отражается в заметной вариации показателя «разница базисов эрозии»;
- неотектоническая активность территории в момент формирования базисов эрозии одного и смежных порядков в разных тектонических зонах существенно отличается;
- остается неясным, насколько связаны между собой древние тектонические структуры и неотектонические движения.

Для уточнения неотектонического (неоген-четвертичного) периода территории Кемеровской области – Кузбасса необходимо произвести другие морфометрические методы исследования.

Список литературы / Reference

1. Лысова В.Ф. Определение морфометрическими методами относительной интенсивности и направленности неотектонических движений в пределах южных частей Вымской депрессии и Вымского вала // Вестник Сыктывкарского университета. Серия 2: Биология. Геология. Химия. Экология. 2019. № 2 (10). С. 104-110.
- Lysova V.F. Determination of relative intensity and orientation of neotectonics movements within the southern parts of Vymskaya depression and Vyma shaft by the morphometric methods // Vestnik Sykty'vkarskogo universiteta. Seriya 2: Biologiya. Geologiya. Khimiya. Ekologiya. 2019. № 2 (10). P. 104-110 (in Russian).
2. Kusák M., Vilímek V., Minár J. Influence of neotectonics on land surface evolution in the upper part of the Blue Nile Basin (Ethiopia): findings from a DEM. AUC Geographica. 2019. Vol. 54. No. 2. P. 129-151. DOI: 10.14712/23361980.2019.13.
3. Petrovski J., Timár G. Channel sinuosity of the Körös River system, Hungary/Romania, as possible indicator of the neotectonic activity. Geomorphology. 2010. Vol. 122. No. 3-4. P. 223-230. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.11.009.
4. Ezeh C.U., Mozie A.T. Morphometric analysis of the Idemili Basin using geospatial techniques. Arabian Journal of Geosciences. 2019. Vol. 12. No. 208. DOI: 10.1007/s12517-019-4336-x.
5. Valkanou K., Karymbalis E., Papanastassiou D., Soldati M., Chalkias C., Gaki-Papanastassiou K. Assessment of Neotectonic Landscape Deformation in Evia Island, Greece, Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. Vol. 10. No. 118. P. 27. DOI: 10.3390/ijgi10030118.
6. Lone A. Morphometric and morphotectonic analysis of Ferozepur drainage basin. Journal of Geography & Natural Disasters. 2017. Vol. 7. No. 3. P. 8. DOI: 10.4172/2167-0587.1000208.
7. Ahmad S., Alam A., Ahmad B., Afzal A., Bhat M.I., Sultan Bhat M., Ahmad H.F. Tectono-geomorphic indices of the Erin basin, NE Kashmir Valley, India. Journal of Asian Earth Sciences. 2017. Vol. 151. P. 16-30. DOI: 10.1016/j.jseas.2017.10.013.
8. Anand A., Pradhan S. Assessment of active tectonics from geomorphic indices and morphometric parameters in part of Ganga basin. Journal of Mountain Science. 2019. Vol. 16. P. 1943-1961. DOI: 10.1007/s11629-018-5172-2.
9. Keshavarz M., Ghaemi F., Faghieh A., Ghanadian M. Tectonic geomorphology assessment of neotectonics in the north of Damghan region, Alborz mountain belt, Northern Iran. Iranian Journal of Earth Sciences. 2021. Vol. 13. No. 4. P. 279-287. DOI: 10.30495/ijes.2021.685388.
10. 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. Науч.-исслед. ин-т горной геомеханики и маркшейдерского дела, Межотраслевой науч. центр ВНИМИ, Кемеровское Представительство, ООО «Редакционно-издательская фирма «Весть», 2006. 181 с.
- Lazarevich T.I., Mazikin V.P., Maly I.A., Kovalev V.A., Polyakov A.N., Harkevich A.S., Shabarov A.N. Geodynamic zoning of the Southern Kuzbass. Nauch.-issled. in-t gornoj geomehaniki i markshejderskogo dela, Mezhotraslevoj nauch. centr VNIMI, Kemerovskoe Predstavitel'stvo, OOO «Redakcionno-izdatel'skaya firma «Vest'», 2006. 181 p. (in Russian).
11. Панина Л.В., Зайцев В.А. Неотектоника и геодинамика Кузнецкой впадины // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2012. № 6. С. 13-20.
- Panina L.V., Zajcev V.A. Neotectonics and geodynamics of the Kuznetsk depression // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4. Geologiya. 2012. № 6. P. 13-20 (in Russian).
12. Черкас О.В. Морфоструктурное районирование Кузнецкой впадины как основа для создания прикладных картосхем // Геоморфология. 2015. № 3. С. 91-101. DOI: 10.15356/0435-4281-2015-3-91-101.
- Cherkas O.V. Morphostructure regionalization of the Kuznetsk area as a basis for applied mapping // Geomorfologiya. 2015. № 3. P. 91-101 (in Russian). DOI: 10.15356/0435-4281-2015-3-91-101.
13. Чернова И.Ю., Нугманов И.И., Даутов А.Н. Применение аналитических функций ГИС для усовершенствования и развития структурно-морфологических методов изучения неотектоники // Геоинформатика. 2010. № 4. С. 9-22.
- Chernova I.Yu., Nugmanov I.I., Dautov A.N. Application of GIS analytic functions for improvement and development of the structural morphological of the neotectonics studies // Geo-informatika. 2010. № 4. P. 9-22 (in Russian).
14. GIS-Lab: Описание и получение данных SRTM. [Электронный ресурс]. URL: <https://gis-lab.info/qa/srtm.html> (дата обращения: 05.01.2022).
- GIS-Lab: Description and retrieval of SRTM data. [Electronic resource]. URL: <https://gis-lab.info/qa/srtm.html> (date of access: 05.01.2022) (in Russian).
15. Карты Кемеровской области. ВСЕГЕИ. [Электронный ресурс]. URL: https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/sfo/kemerovskaya_obl/ (дата обращения: 05.01.2022).
- Maps of the Kemerovo region. VSEGEI. [Electronic resource]. URL: https://vsegei.ru/ru/info/gisatlas/sfo/kemerovskaya_obl/ (date of access: 05.01.2022) (in Russian).