

## ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.8:528.92 (075.8)

DOI: [10.46698/VNC.2020.55.16.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.55.16.002)

Оригинальная статья

## Новейшая структура и геодинамика Западного Предкавказья (на основе дешифрирования КОСМОСНИМКОВ)

Г. С. Январёв 

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: egor\_yan@list.ru

Статья поступила: 29.08.2020, доработана: 19.10.2020, одобрена в печать: 21.11.2020

**Резюме: Актуальность работы.** Геодинамический анализ является важнейшим компонентом региональных геологических исследований. Использование дистанционных методов при геологическом картировании закрытых территорий существенно повышает информативность геологической карты и эффективность прогнозно-поисковых работ. **Цель работы.** В работе рассматривается взаимосвязь рельефа с неотектоническими движениями. Обращается внимание на основные морфологические элементы территории на разных уровнях генерализации цифровой модели рельефа. **Методы исследования.** Произведено дешифрирование цифровой модели рельефа, выделены линеаменты различных порядков (зоны селективной эрозии) как реакция экзогенных процессов на новейшие тектонические деформации. Дана геодинамическая интерпретация выявленных структур. Проведены палеогеографические реконструкции положения русел основных рек в плиоцен-голоценовый период. **Результаты исследования.** Установлено правосдвиговое смещение мозаики тектонических блоков на разных уровнях генерализации, нашедшее отражение в современных деформациях рельефа. Об этом свидетельствуют геометрические характеристики дешифрируемых элементов, кулисообразное расположение периодических серий линеаментов, косое расположение линеаментов относительно линии главного разлома, ориентированных в соответствии с эллипсом деформации, наложение структур друг на друга. Сдвиг по разлому в доплиоценовом фундаменте находит свое отражение в сложном поле напряжений перекрывающего чехла. Деформации соответствуют сколам Риделя, что подтверждается экспериментами, выполненными другими исследователями. Активизация тектонических движений привела к образованию тектонических клиньев, создавших естественные дамбы на пути движения водных потоков, что привело к существенной перестройке геоморфологии и палеогеографии территории. Выявлена миграция русел основных рек в западном направлении в плейстоцен-голоценовый период, их врезание в подстилающие отложения с образованием висячих долин.

**Ключевые слова:** цифровая модель рельефа, дешифрирование, линеаменты, правый сдвиг, сколы Риделя.

**Для цитирования:** Январёв Г. С. Новейшая структура и геодинамика Западного Предкавказья (на основе дешифрирования космоснимков). *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (4): 30 – 40. DOI: 10.46698/VNC.2020.55.16.002.

DOI: [10.46698/VNC.2020.55.16.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2020.55.16.002)

Original paper

## Latest structure and geodynamics of Western Caucasus (based on decoding of satellite images)

G. S. Yanvarev 

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya Str.,  
Novocherkassk 346428, Russian Federation, e-mail: egor\_yan@list.ru

Received: 29.08.2020, revised: 19.10.2020, accepted: 21.11.2020

**Abstract: Relevance.** Geodynamic analysis is an essential component of regional geological research. The use of remote methods for geological mapping of closed territories significantly increases the information content of the geological map and the effectiveness of forecast and search operations. **Aim.** The paper considers the relationship of terrain with neotectonic movements. Attention is drawn to the main morphological elements of the territory at different levels of generalization of the digital terrain model. **Method of research.** The digital terrain model was deciphered and lineaments of various orders (zones of selective erosion) were identified as a reaction of exogenous processes to the latest tectonic deformations. Geodynamic interpretation of the identified structures is given. Paleogeographic reconstructions of the position of the main riverbeds in the Pliocene-Holocene period were carried out. **Results.** The right-hand shift of the tectonic block mosaic at different levels of generalization is found, which is reflected in modern relief deformations. This is evidenced by the geometric characteristics of the elements to be decoded, the rocker-like arrangement of periodic series of lineaments, the oblique arrangement of lineaments relative to the main fault line, oriented in accordance with the deformation ellipse, and the superposition of structures on each other. The fault shift in the pre-Pliocene basement is reflected in the complex stress field of the overlapping cover. The deformations correspond to Riedel chips, which is confirmed by experiments performed by other researchers. The activation of tectonic movements led to the formation of tectonic wedges that created natural dams in the path of water flows, which led to a significant restructuring of the geomorphology and paleogeography of the territory. The migration of the main riverbeds in the Western direction during the Pleistocene-Holocene period, their embedding in the underlying sediments with the formation of hanging valleys, was revealed.

**Keywords:** digital terrain model, decoding, lineaments, right shift, Riedel chips.

**For citation:** Yanvarev G. S. Latest structure and geodynamics of Western Caucasus (based on decoding of satellite images). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (4): ... – .... DOI: 10.46698/VNC.2020.55.16.002.

### Введение

Формирование новейшей структуры Скифской плиты, происходило в связи с перемещением на север Аравийской плиты на рубеже миоцена – плиоцена [Большой Кавказ..., 2007]. Соответственно новейшая структура этого региона формировалась при существенном участии горизонтальных напряжений. Территория Большого Кавказа подвержена разного уровня амплитудным перемещениям латерального и вертикального характера, без ясного представления общей структуры, как единого геологического сооружения, трудно познать до конца его современную структурнотектоническую архитектуру [Gorbatikov et al., 2015; Rogozhin et al., 2015;

Zaalishvili et al., 2015; Заалишвили, Чотчаев, 2016; Чотчаев и др., 2016; Shempelev et al., 2017; Заалишвили, Чотчаев, Шемпелев, 2018; Гиоргобиани, 2019].

Район исследования относится к Западному Предкавказью. В тектоническом отношении территория исследований входит в состав Скифской эпигерцинской плиты, в которой выделяется Азово-Кубанская впадина и западная часть Ставропольского свода.

Верхняя часть разреза до глубины 200 м от поверхности сложена аллювиальными галечниками плиоцен-плейстоценовых отложений, перекрытых на водоразделах четвертичными лессовидными суглинками.

### Цель работы

Важнейшим компонентом региональных геологических исследований является геодинамический анализ, опирающийся как на теоретический фундамент, так и на фактический материал, получаемый в результате дистанционного зондирования Земли. В работе рассматривается взаимосвязь рельефа с неотектоническими движениями. Использование дистанционных методов при геологическом картировании закрытых территорий существенно повышает информативность геологической карты и эффективность прогнозно-поисковых работ.

### Методы исследования

Основной реакцией экзогенных процессов на новейшие деформации в рельефе является селективная эрозия так называемых слабых зон [Корчуганова и др., 2001]. При этом образуются закономерно расположенные линейные понижения в рельефе [Nesje et al., 1992; Serrat, 2003; Miqueloni, Bueno, 2011; Kirchner, 2016; Raczkowska et al., 2018]. Анализ современной тектонической структуры Западного Предкавказья производился в два этапа. На первом этапе выполнялось дешифрирование цифровой модели рельефа (ЦМР) с выделением сети линеаментов, на втором – сопоставление результатов с экспериментальными данными. В дополнение проведены палеогеографические реконструкции положения русел основных рек в плиоцен-голоценовый период [Talling, Sowter, 1998; Berendsen, Stouthamer, 2002; Davidson, Hartley, 2010; Durkin et al., 2017; Gugliotta et al., 2015; Horner et al., 2019].

### Результаты работы

Схема дешифрирования территории Западного Предкавказья приведена на рис. 1. На схеме обозначены эрозионные уступы бортов долин рек Псекупс (1), Пшиш (2), Белая (3), Лаба (4), Кубань (5), Егорлык (6) и их основных притоков. А также две генеральных системы линеаментов северо-западного (А) и субширотного (Б) простирания.

Все речные долины имеют характерный Z-образный изгиб с возрастанием амплитуды изгиба в направлении с юго-запада на северо-восток. Подобные изгибы прослеживаются в водотоках разных порядков. Основная водная артерия региона – Кубань – «упирается» в Тимашевскую ступень Скифской эпигерцинской плиты и резко меняет направление течения на 90°.

Южная система линеаментов подчеркивается коленообразным смещением малых водотоков, прямолинейностью русел, ориентированных в направлении не максимального уклона основания. Северная система линеаментов подчеркивается прямолинейными очертаниями русел малых рек, прямолинейным «продолжением» притоков в противоположных бортах основных русел.

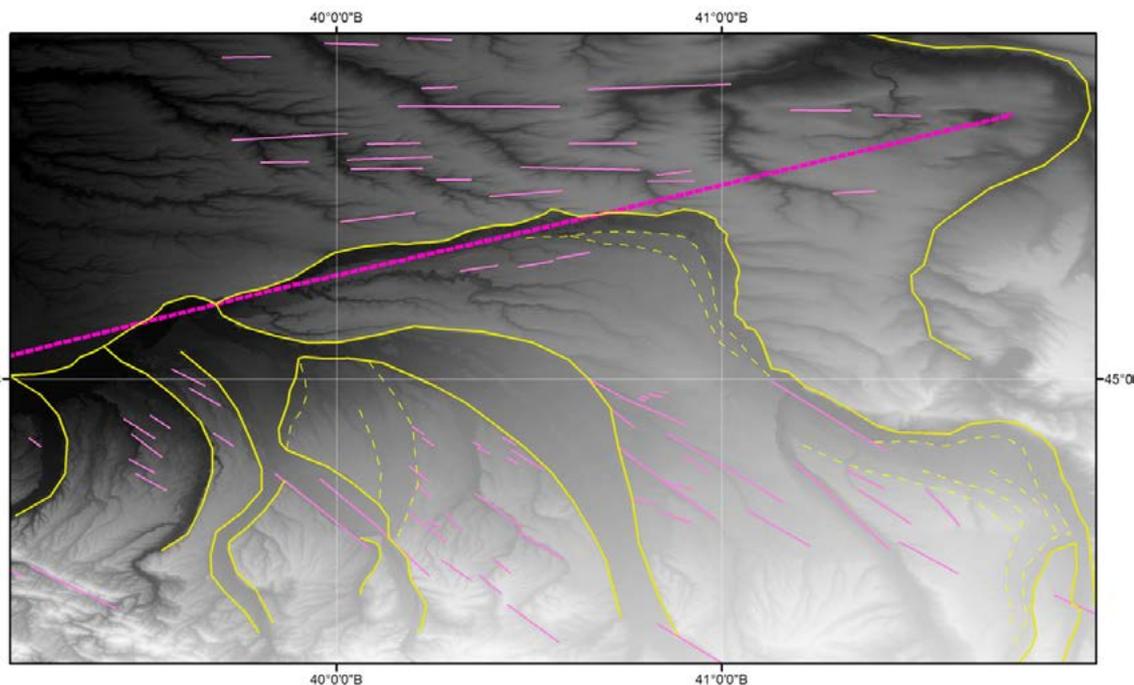


Рис. 1. Схема дешифрирования ЦМР (пояснения в тексте).

На схеме обозначены эрозионные уступы бортов долин рек Псекупс (1), Пшиш (2), Белая (3), Лаба (4), Кубань (5), Егорлык (6) и их основных притоков. А также две генеральные системы линеаментов северо-западного (А) и субширотного (Б) простирания. /

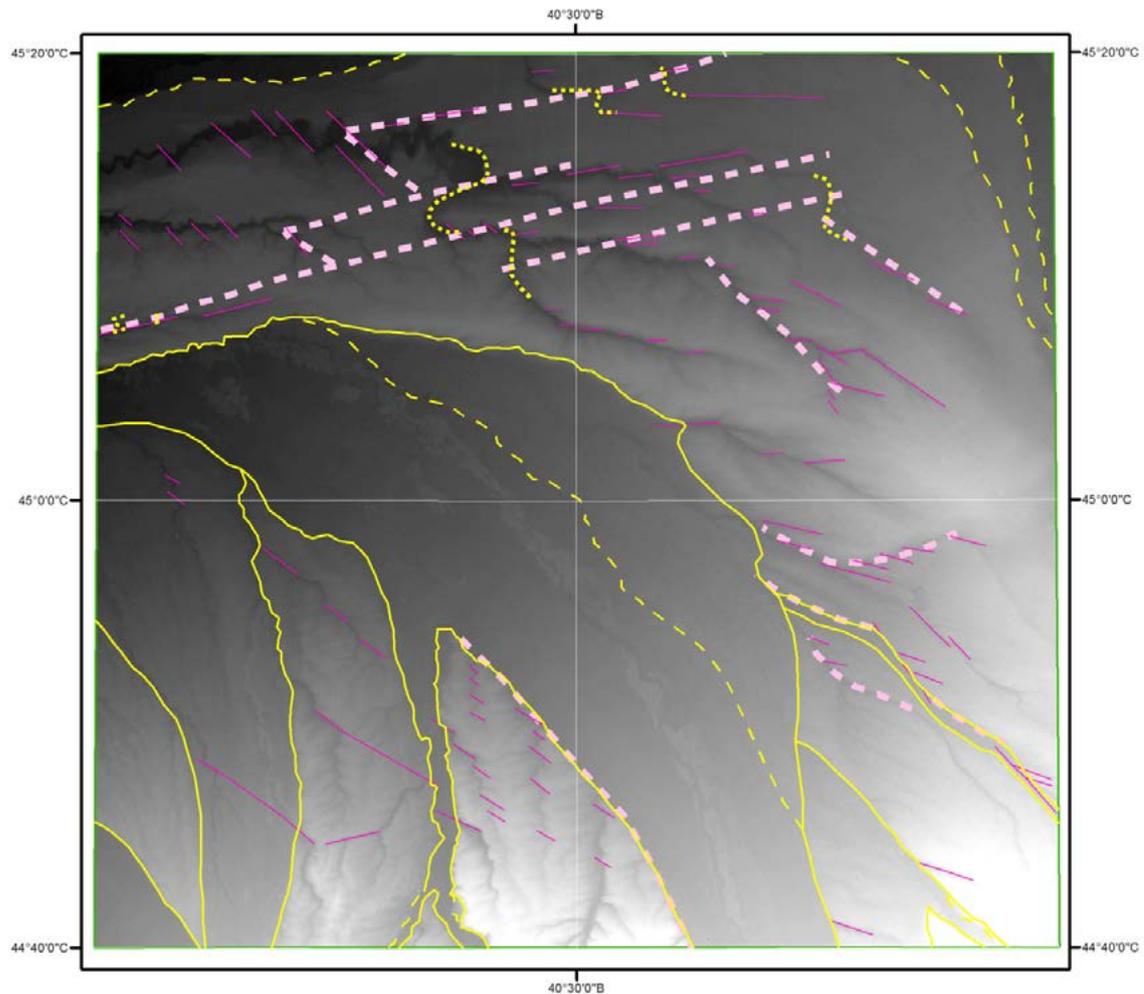
Fig. 1. DEM decoding scheme (explanations in the text). The diagram shows the erosional ledges of the sides of the valleys of the Psekups (1), Pshish (2), Belaya (3), Laba (4), Kuban (5), Egorlyk (6) rivers and their main tributaries. And also two general systems of lineaments of northwestern (A) and sublatitudinal (B) strike

Анализ схемы дешифрирования цифровой модели рельефа Западного Предкавказья позволяет предположить наличие двух крупных тектонических блоков в доплиоценовом фундаменте, смещающихся относительно друг друга по системе правого сдвига. Южный блок смещается в северо-западном направлении с поддвигом под северный.

Об этом свидетельствуют геометрические характеристики дешифрируемых элементов, кулисообразное расположение периодических серий линеаментов, косое расположение линеаментов относительно линии главного разлома, ориентированных в соответствии с эллипсом деформации, наложение структур друг на друга [Ramsay, 1980; Sylvester, 1988].

В соответствии с «моделью Риделя» (Riedel, 1929), сдвиг по разлому в доплиоценовом фундаменте находит свое отражение в сложном поле напряжений перекрывающего чехла, что находит подтверждение в экспериментах исследователей [Черемных, 2014; Фролова и др., 2016]. Экзогенные процессы вносят существенные изменения в рельеф, но главные закономерности, выявленные в экспериментах, сохраняются – южные линеаменты ориентированы в соответствии с антитетическими (сопряженными) сколами Риделя ( $R'$ ), северные – ориентированы в соответствии с синтетическими сколами ( $R$ ).

Выявленная система сколов достаточно отчетливо проявляется на разных уровнях генерализации ЦМР. Так, если схема, представленная на рисунке 1 соответ-



*Рис. 2. Схема дешифрирования ЦМР листа L-37-XXIX.*

*Условные обозначения: 3 – р. Белая; 4 – р. Лаба; 5 – р. Кубань; а – эрозионные уступы; б – дешифрируемые лениаменты; в – Z-образный рисунок русел; г – интерпретация. Стрелки – поля напряжений и направления смещений. /*

*Fig. 2. Scheme for decoding DEM sheet L-37-XXIX. Legend: 3 – r. Belaya; 4 – r. Laba; 5 – r. Kuban; a – erosional ledges; b – identified lineaments; c – Z-shaped pattern of channels; d – interpretation. Arrows – stress fields and displacement directions.*

ствуует масштабу 1:100000, то на рисунке 2 представлена схема дешифрирования масштаба 1:200000 (лист L-37-XXIX). Поля напряжений реализуются в виде анти-тетических клиньев и поддвигов.

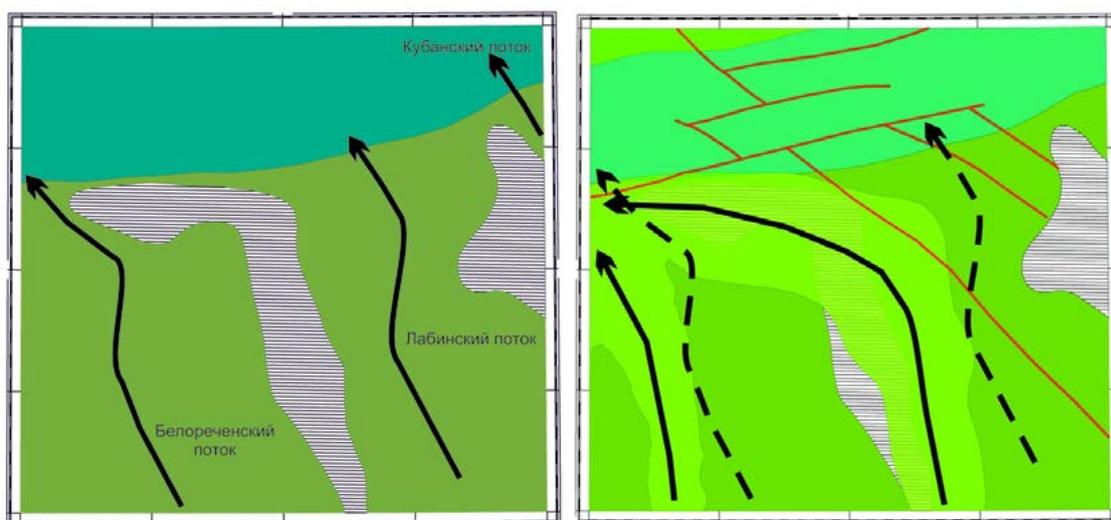
Обращает на себя внимание тот факт, что дешифрируемые элементы проявлены только в междуречьях рек и «стерты» очертаниями современных речных долин.

В процессе работ по геологическому доизучению площади листа L-37-XXIX, в которых автор принимал непосредственное участие, на основе анализа многочисленных разрезов, построенных по ранее пробуренным гидрогеологическим и картировочным скважинам, удалось выявить палеодолины основных водных потоков различного возраста (рис. 3).

На рисунке 3 (а) представлена схема размещения водных потоков эполейстоценового возраста ( $aN_2-E_1$ ). Палеодолины сложены гравийно-галечниковыми отложениями новокубанской и белореченской свит. При выходе водных потоков из

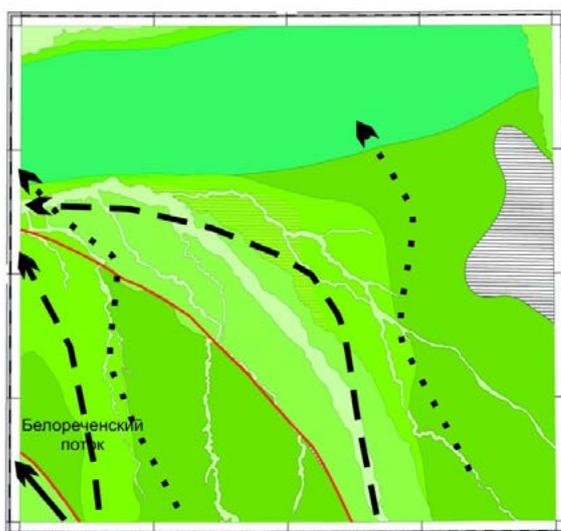
горного сооружения Кавказа на равнины, реки сливались и формировали широкий пояс аллювиальных и аллювиально-дельтовых наносов. При этом не существовало устойчивых русел водных потоков, что обусловило образование зоны так называемых «внутренних дельт», где русла ветвились на серию рукавов, проток и озер, впадая в мелководный бассейн, сложенный отложениями центральнокубанской свиты. Дельты разделены участками суши, на которых накапливались красноцветные песчано-глинистые толщи.

На рисунке 3 (б) представлена схема размещения водных потоков среднеплейстоценового возраста (aII) на нижележащих отложениях. Схема иллюстрирует



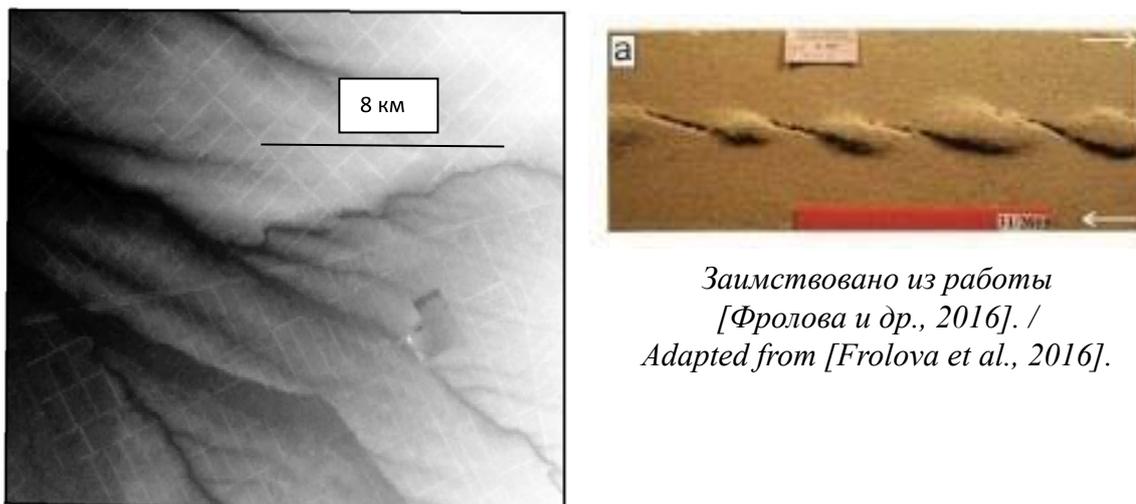
а) схема размещения водных потоков эоплейстоценового возраста (aN<sub>2</sub>-E<sub>1</sub>) /  
a) layout of water streams of the Eopleistocene age (aN<sub>2</sub>-E<sub>1</sub>)

б) схема размещения водных потоков среднеплейстоценового возраста (aII) /  
b) the layout of water streams of the Middle Pleistocene age (aII)



в) схема размещения водных потоков верхнеплейстоценового и голоценового возраста (aIII, H) /

Рис. 3. Палеогеографические схемы листа L-37-XXIX. /  
c) the layout of water streams of the Upper Pleistocene and Holocene age (aIII, H)  
Fig. 3. Paleogeographic schemes of sheet L-37-XXIX, explanations in the text.



*Рис. 4. Сопоставление природных и экспериментальных структур (пояснения в тексте). /*

*Comparison of natural and experimental structures (explanations in the text).*

существенное сокращение площади водных потоков, их смещение в западном направлении и резкий поворот русла р. Лаба на запад. Среднечетвертичные отложения врезаются в более древние образования. Смещение и поворот потоков на запад, вероятно, связаны с активизацией тектонических движений, которые привели к образованию тектонических клиньев, создавших естественные «дамбы» на пути движения водных потоков.

На рисунке 3 (в) представлена схема размещения водных потоков верхнеплейстоценового и голоценового возраста (аIII, Н) на нижележащих отложениях. Схема иллюстрирует дальнейшее сокращение ширины речных долин, уменьшение мощности водных потоков и разделение их на несколько рек в современное время. Видно, что русло Лабы продолжило свое смещение к западу. Река Белая, кроме смещения к западу, изменила направление и значительно врезалась в подстилающие отложения, образуя висячую долину старого русла.

Отмеченные перестройка геоморфологии и палеогеографии территории подтверждают смещение южного тектонического блока по отношению к северному в западном направлении и связаны с активизацией двух крупных разрывных нарушений северо-западного простирания, отделивших Адыгейский выступ от Восточно-Кубанского прогиба.

На рисунке 4 (слева) представлена ЦМР фрагмента исследуемой территории масштаба 1:50000. В центральной части снимка отчетливо проявлена периодическая серия параллельных балок, разделенных валами поднятий.

Морфологический рисунок полностью соответствует результатам опыта по отращиванию сдвига во влажном песке (справа) [Фролова и др., 2016]. Балки наследуют местоположение трещин отрыва, формирующихся в результате развития сдвига, разделяющие их поднятия – результат увеличения объема слабо литифицированных конгломератов вследствие переупаковки обломочного материала.

## Выводы

Анализ дешифрирования цифровой модели рельефа Западного Предкавказья на разных уровнях генерализации и палеогеографические реконструкции позволяют предложить следующую геокинематическую интерпретацию: тектонический блок Восточно-Кубанского прогиба в доплиоценовом фундаменте смещается в северо-западном направлении с поддвигом под Тимашевскую ступень Скифской плиты, формируя мозаику микроблоков. Возникающие поля напряжений реализуются в современном чехле в виде сколов Риделя. «Слабые» зоны отражаются системой современных водотоков на разных уровнях генерализации. Смещение тектонических блоков привело к существенной перестройке геоморфологии и палеогеографии территории.

## Литература

1. Большой Кавказ в альпийскую эпоху. / Под. ред. Ю. Г. Леонова. – М.: ГЕОС, 2007. – 368 с.
2. Гиоргобиани Т. В. Условия формирования альпийской складчатой системы Большого Кавказа и характерные особенности ее структуры. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 1. – С. 43-57. DOI: 10.23671/VNC. 2019.1.26787.
3. Заалишвили В. Б., Чотчаев Х. О. Комплексный анализ геологических данных и скоростной модели ММЗ на разрезах Центрального Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 4. – С. 52-67.
4. Заалишвили В. Б., Чотчаев Х. О., Шемпелев А. Г. Признаки геодинамической обстановки и элементов структурно-вещественных комплексов Центрального Кавказа на глубинном разрезе Геналдонского профиля. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – № 4. – С. 58-74.
5. Корчуганова Н. И., Костенко Н. П., Межеловский И. Н. Неотектонические методы поисков полезных ископаемых. – М. – 2001-212 с. (МПР РФ, Геокарт, МГГА).
6. Развитие деформаций в зонах сдвига: результаты физического моделирования с использованием песка. / Н. С. Фролова, А. Н. Корбутяк, А. А. Мишакина, С. В. Корпач. // Материалы докладов всероссийской конференции с международным участием. Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Т. 2. – М.: ИФЗ РАН, 2016. – С. 385-392.
7. Черемных А. С. Сдвиговая разломная зона в рельефе: анализ цифровых моделей экспериментальных и природных объектов. // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 2 (85). – С. 92-103.
8. Чотчаев Х. О., Заалишвили В. Б., Невский Л. Н., Шемпелев А. Г. Геоморфология как признак наследственности структурных особенностей Земной коры. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 1. – С. 141-158.
9. Berendsen H. J. A., & Stouthamer E. Paleogeographic evolution and avulsion history of the Holocene Rhine-Meuse delta, The Netherlands [Article; Proceedings Paper]. // *Geologie En Mijnbouw-Netherlands Journal of Geosciences*. – 2002. – Vol. 81 (1). – pp. 97-112.
10. Davidson S. K., & Hartley A. J. Towards a quantitative method for estimating paleohydrology from clast size and comparison with modern rivers [Article]. // *Journal of Sedimentary Research*. – 2010. – Vol. 80 (7-8). – pp. 688-702. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.062>
11. Durkin P. R., Boyd R. L., Hubbard S. M., Shultz A. W., & Blum M. D. Three-dimensional reconstruction of meander-belt evolution, cretaceous McMurray formation, Alberta foreland basin, Canada [Article]. // *Journal of Sedimentary Research*. – 2017. – Vol. 87 (10). – pp. 1075-1099. <https://doi.org/10.2110/jsr.2017.59>
12. Gorbatikov A. V., Rogozhin E. A., Stepanova M. Y., Kharazova Y. V., Andreeva N. V., Perederin F. V., Zaališvili V. B., Mel'kov D. A., Dzeranov B. V., Dzeboev B. A., &

Gabaraev A. F. The pattern of deep structure and recent tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector from the complex geophysical data. // *Izvestiya-Physics of the Solid Earth*. – 2015. – Vol. 51 (1). – pp. 26-37. <https://doi.org/10.1134/s1069351315010073>

13. Gugliotta M., Flint S. S., Hodgson D. M., & Veiga G. D. Stratigraphic record of river-dominated crevasse subdeltas with tidal influence (Lajas formation, Argentina) [Article]. // *Journal of Sedimentary Research*. – 2015. – Vol. 85 (3). – pp. 265-284. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.19>

14. Horner S. C., Hubbard S. M., Martin H. K., & Hagstrom C. A. Reconstructing basin-scale drainage dynamics with regional subsurface mapping and channel-bar scaling, Aptian, Western Canada Foreland Basin [Article]. // *Sedimentary Geology*. – 2019. – Vol. 385. – pp. 26-44. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2019.03.012>

15. Kirchner K. The Dyje Canyon-like Valley: Geomorphological Landscape of Deep Valley at the Eastern Part of the Marginal Slope of Bohemian Massif. In T. Panek & J. Hradecky (Eds.). // *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. – 2016. – pp. 233-247. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27537-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27537-6_19)

16. Miqueloni D. P., & Bueno C. R. P. (Multivariate analysis and spatial variability to estimate soil erodibility of an anfiisol. // *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*. – 2011. – Vol. 35 (6). – pp. 2175-2182. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000600032>

17. Nesje A., Dahl S. O., Valen V., & Ovstedal J. Quaternary erosion in the Sognefjord drainage-basin, Western Norway. // *Geomorphology*. – 1992. – No. 5 (6). – pp. 511-520. [https://doi.org/10.1016/0169-555x\(92\)90022-g](https://doi.org/10.1016/0169-555x(92)90022-g)

18. Raczowska Z., Bucala-Hrabia A., & Prokop P. Geomorphological and sedimentological indicators of land degradation (Meghalaya Plateau, NE India). // *Land Degradation & Development*. – 2018. – Vol. 29 (8). – pp. 2746-2759. <https://doi.org/10.1002/ldr.3020>

19. Ramsay J. G. Shea zone geometry: a review. // *J. of Struct. Geol.* – 1980. – Vol. 2. No. 1-2. – pp. 83-99.

20. Rogozhin E. A., Gorbatikov A. V., Zaalishvili V. B., Stepanova M. Y., Andreeva N. V., & Kharazova Y. V. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater. // *Caucasus. Doklady Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 462 (1). – pp. 543-545. <https://doi.org/10.1134/s1028334x15050244>

21. Serrat P. The Aglyriver: long-term evolution and present fluvial dynamics of a coastal stream. // *Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau*. – 2003. – No. 5. – pp. 137-146. <https://doi.org/10.1051/lhb/2003104>

22. Shempelev A. G., Zaalishvili V. B., & Kukhmazov S. U. Deep structure of the western part of the Central Caucasus from geophysical data. // *Geotectonics*. – 2017. – Vol. 51 (5). – pp. 479-488. <https://doi.org/10.1134/s0016852117050053>

23. Sylvester A. G. Strike-slip faults. // *Geol. Soc. of Amer. Bull.* – 1988. – Vol. 100. No. 11. – pp. 1666-1703.

24. Talling P. J., & Sowter M. J. Erosion, deposition and basin-wide variations in stream power and bed shear stress [Article]. // *Basin Research*. – 1998. – Vol. 10 (1). – pp. 87-108. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.1998.00088.x>

25. Zaalishvili V. B., Nevskaya N. I., Nevskii L. N., & Shempelev A. G. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus. // *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2015. – Vol. 9 (5). – pp. 333-338. <https://doi.org/10.1134/s0742046315050085>

## References

1. Greater Caucasus in the Alpine era. Yu. G. Leonov. Moscow, GEOS, 2007. 368 p. (In Russ.)

2. Giorgobiani T. V. Conditions of formation of the alpine folded system of the Greater Caucasus and unique features of it's structure. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2019. Vol. 9 (1). pp. 43-57. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26787. (In Russ.)

3. Zaalishvili V. B., Chotchaev Kh. O. Complex analysis of geological data and of highspeed model MMS in the Central Caucasus sections. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2016. No. 4. pp. 52-67. (In Russ.)
4. Zaalishvili V. B., Chotchaev Kh. O., Shempelev A. G. The characteristics of the geodynamic environment and elements of structural-material complexes of the Central Caucasus at a deep incision of Genaldon profile. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2018. No. 4. pp. 58-74. (In Russ.)
5. Korchuganova N. I., Kostenko N. P., Mezhelovskii I. N. Neotectonic methods of prospecting for minerals. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, Geokart, MGGA. Moscow. 2001. 212 p. (In Russ.)
6. Frolova N. S., Korbutyak A. N., Mishakina A. A., Korpach S. V. Development of deformations in shear zones: results of physical modeling using sand. In: Proceedings of the All-Russian conference with international participation. The fourth tectonophysical conference at the IPE RAS Tectonophysics and topical issues of earth sciences. Vol. 2. Moscow, IPE RAS, 2016. pp. 385-392. (In Russ.)
7. Cheremnykh A. S. Shear fault zone in relief: analysis of digital models of experimental and natural objects. *Bulletin of ISTU*. 2014. No. 2 (85). pp. 92-103. (In Russ.)
8. Chotchaev Kh. O., Zaalishvili V. B., Nevskiy L. N., Shempelev A. G. Geomorphology as the heredity sign of the structural features of the Earth's crust. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2016. No. 1. pp. 141-158. (In Russ.)
9. Berendsen H. J. A., & Stouthamer E. Paleogeographic evolution and avulsion history of the Holocene Rhine-Meuse delta, The Netherlands [Article; Proceedings Paper]. *Geologie En Mijnbouw-Netherlands Journal of Geosciences*, 2002. Vol. 81 (1). pp. 97-112.
10. Davidson S. K., & Hartley A. J. Towards a quantitative method for estimating paleohydrology from clast size and comparison with modern rivers [Article]. *Journal of Sedimentary Research*, 2010. Vol. 80 (7-8). pp. 688-702. <https://doi.org/10.2110/jsr.2010.062>
11. Durkin P. R., Boyd R. L., Hubbard S. M., Shultz A. W., & Blum M. D. Three-dimensional reconstruction of meander-belt evolution, cretaceous McMurray formation, Alberta foreland basin, Canada [Article]. *Journal of Sedimentary Research*, 2017. Vol. 87 (10). pp. 1075-1099. <https://doi.org/10.2110/jsr.2017.59>
12. Gorbatikov A. V., Rogozhin E. A., Stepanova M. Y., Kharazova Y. V., Andreeva N. V., Perederin F. V., Zaalishvili V. B., Mel'kov D. A., Dzeranov B. V., Dzeboev B. A., & Gabaraev A. F. The pattern of deep structure and recent tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector from the complex geophysical data. *Izvestiya-Physics of the Solid Earth*, 2015. Vol. 51 (1). pp. 26-37. <https://doi.org/10.1134/s1069351315010073>
13. Gugliotta M., Flint S. S., Hodgson D. M., & Veiga G. D. Stratigraphic record of river-dominated crevasse subdeltas with tidal influence (Lajas formation, Argentina) [Article]. *Journal of Sedimentary Research*, 2015. Vol. 85 (3). pp. 265-284. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.19>
14. Horner S. C., Hubbard S. M., Martin H. K., & Hagstrom C. A. Reconstructing basin-scale drainage dynamics with regional subsurface mapping and channel-bar scaling, Aptian, Western Canada Foreland Basin [Article]. *Sedimentary Geology*, 2019. Vol. 385. pp. 26-44. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2019.03.012>
15. Kirchner K. The Dyje Canyon-like Valley: Geomorphological Landscape of Deep Valley at the Eastern Part of the Marginal Slope of Bohemian Massif. In T. Panek & J. Hradecky (Eds.). *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*, 2016. pp. 233-247. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-27537-6\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27537-6_19)
16. Miqueloni D. P., & Bueno C. R. P. (Multivariate analysis and spatial variability to estimate soil erodibility of an anisol. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo*, 2011. Vol. 35 (6). pp. 2175-2182. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832011000600032>
17. Nesje A., Dahl S. O., Valen V., & Ovstedal J. Quaternary erosion in the Sognefjord drainage-basin, Western Norway. *Geomorphology*, 1992. No. 5 (6). pp. 511-520. [https://doi.org/10.1016/0169-555x\(92\)90022-g](https://doi.org/10.1016/0169-555x(92)90022-g)

18. Raczkowska Z., Bucala-Hrabia A., & Prokop P. Geomorphological and sedimentological indicators of land degradation (Meghalaya Plateau, NE India). *Land Degradation & Development*, 2018. Vol. 29 (8). pp. 2746-2759. <https://doi.org/10.1002/ldr.3020>
19. Ramsay J. G. Shea zone geometry: a review. *J. of Struct. Geol.* 1980. Vol. 2. No. 1-2. pp. 83-99.
20. Rogozhin E. A., Gorbatikov A. V., Zaalishvili V. B., Stepanova M. Y., Andreeva N. V., & Kharazova Y. V. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus. *Reports Earth Sciences*. 2015. Vol. 462 (1). pp. 543-545. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15050244>
21. Serrat P. The Aglyriver: long-term evolution and present fluvial dynamics of a coastal stream. *Houille Blanche-Revue Internationale De L Eau*. 2003. No. 5. pp. 137-146. <https://doi.org/10.1051/lhb/2003104>
22. Shempelev A. G., Zaalishvili V. B., & Kukhmazov S. U. Deep structure of the western part of the Central Caucasus from geophysical data. *Geotectonics*, 2017. Vol. 51 (5). pp. 479-488. <https://doi.org/10.1134/S0016852117050053>
23. Sylvester A. G. Strike-slip faults. *Geol. Soc. of Amer. Bull.*, 1988. Vol. 100. No. 11. pp. 1666-1703.
24. Talling P. J., & Sowter M. J. Erosion, deposition and basin-wide variations in stream power and bed shear stress [Article]. *Basin Research*, 1998. Vol. 10 (1). pp. 87-108. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.1998.00088.x>
25. Zaalishvili V. B., Nevskaya N. I., Nevskii L. N., & Shempelev A. G. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus. *Journal of Volcanology and Seismology*, 2015. Vol. 9 (5). pp. 333-338. <https://doi.org/10.1134/S0742046315050085>