

ВЕРИФИКАЦИЯ ВЫСОТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА ОСНОВЕ ЦМР AW3D30

Сизов О.С.

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

На основе цифровой модели рельефа AW3D30 выполнен сравнительный анализ гистограмм высотного распределения севера Западной Сибири (Ямал, Гыдан, междуречье Оби и Енисея) относительно Васюганской равнины, Барабинской и Прикаспийской низменностей. Подтвержден общий для севера Западной Сибири нижний геоморфологический уровень в интервале от 0 до 10-11 м (уровень лайд и голоценовой морской трансгрессии). В интервале от 10 до 60 м для различных участков подтверждаются разновысотные уровни озерно-аллювиальных террас. Выше 60 м одноуровневые участки, которые можно было бы соотнести с выровненными морскими террасами, в рельефе не прослеживаются. Гипсометрический профиль Надым-Пуровского междуречья, кардинально отличаясь от профиля Прикаспийской низменности, также подтверждает условность выделения высоких геоморфологических уровней (IV морская терраса и выше).

Ключевые слова: *Западная Сибирь, геоморфологический уровень, трансгрессия, цифровая модель рельефа, морская терраса*

Согласно представлениям К.К. Маркова [1948] геоморфологические уровни (ГУ) являются результатом воздействия разнообразных экзогенных сил, выравнивающих рельеф земной поверхности. В качестве примеров приводятся абразионно-аккумулятивный уровень морей и океанов, а также уровни эрозионного пенеплена, снеговой границы и вершинной поверхности гор. При этом изучение ГУ рассматривается как основной метод теоретической геоморфологии при исследовании взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов.

Согласно одной из существующих концепций Западная Сибирь представляет собой аккумулятивную равнину, состоящую из последовательного ряда ГУ (террас) – морских, озерных и речных [Герман и др., 1963; Кузин, 1963, 2005; Геоморфология, 1972; Баду, 2011 и др.]. Главной причиной формирования ГУ Западно-Сибирской равнины признается череда крупных морских трансгрессий и регрессий, начиная с позднего миоцена-раннего плиоцена (седьмой уровень 200-250 м). В пределах Ямала, в частности, выделяется пять абразионно-аккумулятивных уровней (табл.). Основными геоморфологическими признаками их выделения является выровненность поверхности («монотонность высотных отметок») и наличие абразионных уступов, разделяющих разновозрастные террасы [Геологическое, 1962]. При этом отмечается, что выраженность в рельефе высоких морских террас (IV-VII) существенно хуже, а границы между ними проведены достаточно условно по высотным отметкам и по различиям в морфологии поверхности [Тектоника, 1960; Герман и др., 1963; Кузин, 2005].

Одноуровневые поверхности, сформировавшиеся в условиях морской аккумуляции, на гистограмме высот поверхности проявляются в виде графика нормального распределения (по Гауссу), где пик соответствует уровню максимального выполаживания [Forte, Rowley, 2022]. Следовательно, выделяемая для севера Западной Сибири ГУ лестница морских террас должна проявляться на гистограмме цифровой модели рельефа (ЦМР) в виде последовательной серии пиков на различных высотах.

Для проверки данного предположения в ходе исследования использовалась ЦМР ALOS World 3D-30m (AW3D30) версии 3.2 с разрешением ~30 м [Tadono et al., 2016]. Доступ к ЦМР AW3D30 открыт для всех категорий пользователей [AW3D30, <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>]. Обработка и анализ ЦМР проводился с помощью программного обеспечения ArcGIS 10.8 и MS Excel 2016.

Рассматриваемая территория включает три обособленных участка – полуостров Ямал, полуостров Гыдан, а также территорию междуречья Оби и Енисея к северу от Сибирских увалов. Для сравнения используется территория Васюганской водораздельной равнины и Барабинской низменности. За пределами Западной Сибири в качестве аналога территории, испытавшей неоднократные морские трансгрессии, выбрана Прикаспийская низменность.

Гистограммы распределения высот ЦМР AW3D30 по каждому из участков (Рис. 1) показывают следующее:

– на полуострове Ямал выделяется два явных пика. Первый пик в интервале от 0 до 7 м (уровень лайды по [Герман и др., 1963]) соответствует возможному уровню голоценовой трансгрессии, прослеживаемой практически повсеместно на севере Западной Сибири и отмеченной множеством авторов (тут и далее высоты приводятся в системе отсчета исходной ЦМР AW3D30). Второй пик в интервале от 14 до 23 м выделяется за счет крупных озерных котловин в центральной части полуострова (Нейто и др.), заболоченных долин в верховьях рек, широкой аллювиальной террасы вдоль восточного побережья и озерной террасы предполагаемого древнего приледникового озера [Nazarov et al., 2022]. Выше 30 м график распределения высот равномерно снижается без явных колебаний;

Табл. 1. Геоморфологические уровни севера Западной Сибири (по [Герман и др., 1963])

Высоты уровней*, м	Эрозионно-аккумулятивные уровни	Абразионно-аккумулятивные уровни
От 0 до 5-7	Пойменный комплекс террас (низкая и высокая пойма)	«Лайды»
8-12	I надпойменная терраса	I морская терраса
18-25	II надпойменная терраса	II морская терраса
30-45	Озерно-аллювиальная терраса	III морская терраса
50-60	–	IV морская терраса
70-110	–	V морская терраса

* Для эрозионно-аккумулятивных уровней высоты указаны от уреза воды в реках, для абразионно-аккумулятивных уровней – от уровня моря

Одноуровневые поверхности, сформировавшиеся в условиях морской аккумуляции, на гистограмме высот поверхности проявляются в виде графика нормального распределения (по Гауссу), где пик соответствует уровню максимального выполаживания [Forte, Rowley, 2022]. Следовательно, выделяемая для севера Западной Сибири ГУ лестница морских террас должна проявляться на гистограмме цифровой модели рельефа (ЦМР) в виде последовательной серии пиков на различных высотах.

Для проверки данного предположения в ходе исследования использовалась ЦМР ALOS World 3D-30m (AW3D30) версии 3.2 с разрешением ~30 м [Tadono et al., 2016]. Доступ к ЦМР AW3D30 открыт для всех категорий пользователей [AW3D30, <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm>]. Обработка и анализ ЦМР проводился с помощью программного обеспечения ArcGIS 10.8 и MS Excel 2016.

Рассматриваемая территория включает три обособленных участка – полуостров Ямал, полуостров Гыдан, а также территорию междуречья Оби и Енисея к северу от Сибирских увалов. Для сравнения используется территория Васюганской водораздельной равнины и Барабинской низменности. За пределами Западной Сибири в качестве аналога территории, испытавшей неоднократные морские трансгрессии, выбрана Прикаспийская низменность.

Гистограммы распределения высот ЦМР AW3D30 по каждому из участков (Рис. 1) показывают следующее:

–на полуострове Ямал выделяется два явных пика. Первый пик в интервале от 0 до 7 м (уровень лайды по [Герман и др., 1963]) соответствует возможному уровню голоценовой трансгрессии, прослеживаемой практически повсеместно на севере Западной Сибири и отмеченной множеством авторов (тут и далее высоты приводятся в системе отсчета исходной ЦМР AW3D30). Второй пик в интервале от 14 до 23 м выделяется за счет крупных озерных котловин в центральной части полуострова (Нейто и др.), заболоченных долин в верховьях рек, широкой аллювиальной террасы вдоль восточного побережья и озерной террасы предполагаемого древнего приледникового озера [Nazarov et al., 2022]. Выше 30 м график распределения высот равномерно снижается без явных колебаний;

–на полуострове Гыдан выделяется один явный пик в интервале от 0 до 11 м, что также можно связать с уровнем голоценовой трансгрессии. Выше 14-17 м распределение высот более равномерно по сравнению с Ямалом с очевидной тенденцией к снижению;

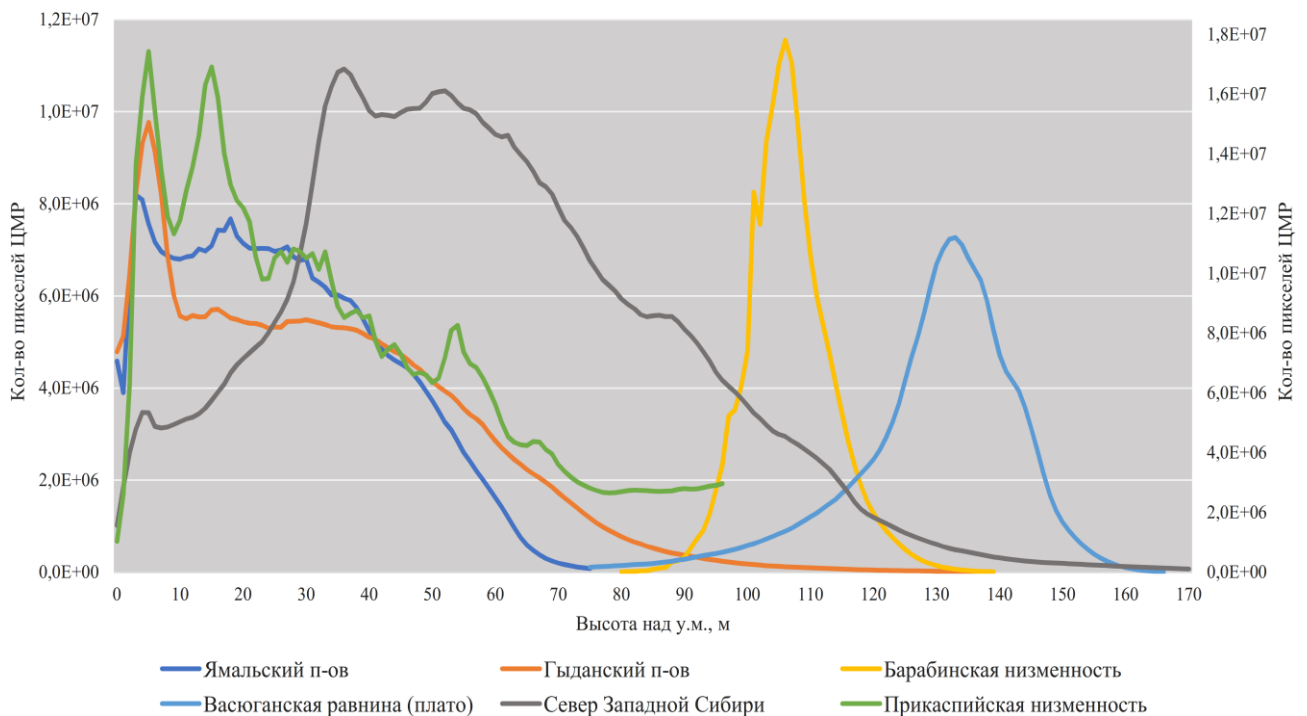


Рис. 1. Гистограммы высот рассматриваемых участков на основе ЦМР AW3D30 (для Прикаспийской низменности за 0 принят урез Каспийского моря)

–для междуречья Оби и Енисея можно отметить три пика. Первый в интервале от 0 до 8 м по всей видимости имеет аналогичный генезис наряду с Ямалом и Гыданом. Второй пик с приблизительным интервалом от 27 до 42 м выделяется на всей территории данного участка и может быть связан как с уровнем подпрудного приледникового водоема зырянского времени [Panin et al., 2020], так и с уровнем казанцевской морской трансгрессии [Гуськов, Левчук, 1995]. Последнее менее вероятно, т.к. данный уровень не прослеживается на полуостровах Ямал и Гыдан. Третий слабо выраженный пик в интервале от 45 до 61 м также может быть связан с зырянским подпрудным водоемом или максимальной стадией казанцевской трансгрессии [Гуськов, Левчук, 1995; Panin et al., 2020]. Выше 61 м распределение высот практически равномерное (частично выделяются заболоченные водоразделы на высоте 85-90 м) с тенденцией к плавному снижению;

–Васюганская водораздельная равнина имеет распределение высот близкое к нормальному (в интервале 100-150 м), что свидетельствует о выровненности территории при слабом развитии эрозионных процессов (уровень эрозионного пенеплена по К.К. Маркову [1948]). Барабинская низменность, как часть гипотетического Мансийского озера (впервые предложенного И.А. Волковым и В.С. Волковой [1964]), также демонстрирует

нормальное распределение высот, что вполне соответствует условиям водной аккумуляции;

– в пределах Каспийской низменности закономерно выделяется череда пиков (высотные интервалы 0-10, 10-25, 25-37, 51-65 м), которые можно соотнести с различными стадиями голоценовых и неоплейстоценовых трансгрессий (раннехвалынской, позднехвалынской и др.) [Лаврентьев, Чепалыга, 2008; Свиточ, 2008; Янина, 2012].

Высотные профили, проведенные перпендикулярно общему уклону поверхности, демонстрируют принципиальное различие рельефа Прикаспийской низменности и Надым-Пуровского междуречья (Рис. 2). В первом случае выделяется равномерный склон, соответствующей профилю равновесия крупного водоема. Во втором случае ограничено выделяется поверхность выравнивания в интервале 40-50 м вблизи долин Надыма и Пура (III озерно-аллювиальная терраса), в то время как выше 50 м преобладают склоны различной крутизны.

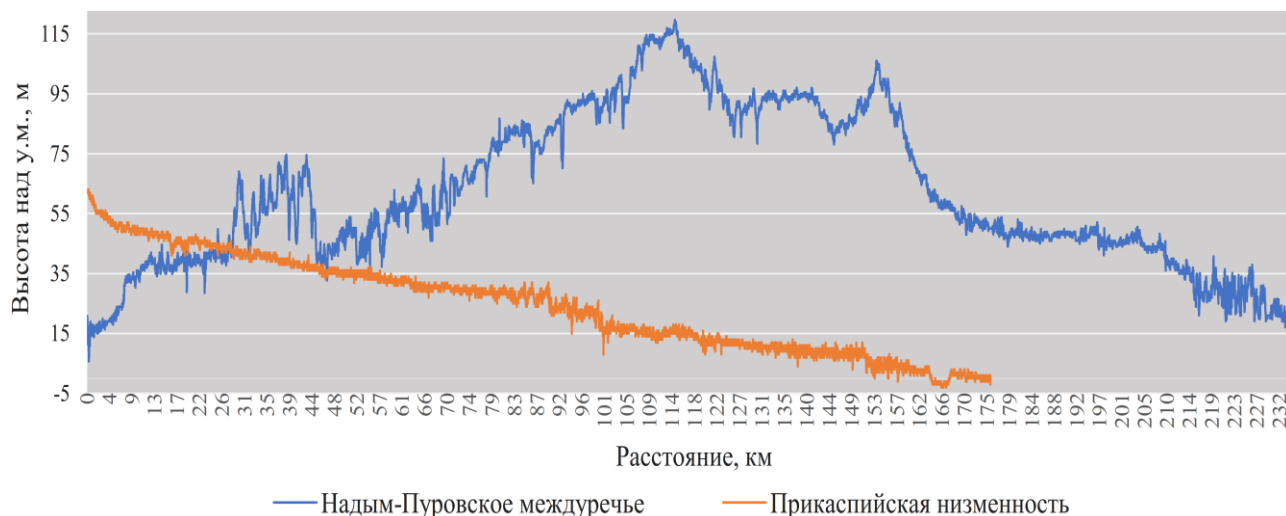


Рис. 2. Гипсометрический профиль Надым-Пуровского междуречья (по линии Надым-Ямсовей) и Прикаспийской низменности (с севера на юг вдоль р.Урал) (для Прикаспийской низменности за 0 принят урез Каспийского моря)

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

– анализ высотного распределения на основе ЦМР позволяет выделять одноуровневые участки, соответствующие различным ГУ (в частности, абразионно-аккумулятивным равнинам);

– в пределах севера Западной Сибири устойчиво выделяется общий ГУ, соответствующий уровню голоценовой трансгрессии (от 0 до 10-11 м). Выше 10 м для различных участков выделяются уровни озерно-аллювиальных террас (на различных высотах), вплоть до 60 м.

– выше 60 м для рассматриваемой территории не выявлено однозначных признаков одноуровневых поверхностей.

В целом, полученные результаты подтверждают условность границ высоких морских террас (IV-VII), поскольку геоморфологические признаки для их выделения отсутствуют.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-71004.

ЛИТЕРАТУРА

Баду Ю.Б. Геологическое строение криогенной толщи севера Западной Сибири // Инженерная геология. 2011. № 1. С. 40-56.

Волков И.А., Волкова В.С. О позднеплейстоценовом озере-море на юге Западно-Сибирской низменности // Четвертичная геология, геоморфология и палеогеография Сибири. Тр. Ин-та геол. и геоф. СО АН СССР. Вып. 44. Новосибирск, 1964. С. 109-129.

Геологическое строение, перспективы и направление нефтегазопоисковых работ на Обско-Пурском междуречье, Ямале и Пур-Тазовском междуречье (Отчет Салехардской экспедиции ВНИГРИ за 1956-61 гг., тема 855) (Отв. исп. Чочиа Н.Г.). М., 1962. 433 с.

Геоморфология Западно-Сибирской равнины (Объяснительная записка к геоморфологической карте Западно-Сибирской равнины масштаба 1:1500000). Новосибирск: Западно-Сибирское книжное изд-во, 1972. 112 с.

Герман Е.В., Кисляков В.Н., Рейнин И.В. Геология и геоморфология п-ва Ямал – нового района перспективного для поисков нефти и газа // Геология и нефтегазоносность севера Западной Сибири. Тр. ВНИГРИ. Вып. 225. Л., 1963. С. 311-329.

Гуськов С.А., Левчук Л.К. Казанцевский палеобассейн на севере Сибири: экологические ассоциации фораминифер и палеообстановки // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 3. С. 25-30.

Кузин И.Л. Геоморфологические уровни севера Западной Сибири // Геология и нефтегазоносность севера Западной Сибири. Тр. ВНИГРИ. Вып. 225. Л., 1963. С. 330-339.

Кузин И.Л. Геоморфология Западно-Сибирской равнины. СПб.: Изд-во Государственной полярной академии, 2005. 176 с.

Лаврентьев Н.В., Чепалыга А.Л. Опыт применения ГИС-технологий для реконструкций береговых линий Хвалынского бассейна (на примере Прикаспийской низменности) // Геоморфология. 2008. №3. С. 66-73.

Марков К.К. Основные проблемы геоморфологии. М.: ОГИЗ, 1948. 343 стр.

Свиточ А.А. Хвалынская трансгрессия Каспия и Новозэвксинский водоем Черного моря // Водные ресурсы. 2008. №2. С. 175-180.

Тектоника и перспективы нефтегазоносности северной части Западно-Сибирской низменности и план дальнейших работ (Отчет Салехардской экспедиции ВНИГРИ за 1958-59 гг., тема 767) (Отв. исп. Чочиа Н.Г.). М., 1960. 990 с.

Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Географический факультет МГУ. 2012. 264 с.

AW3D30 DSM data map [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/data/index.htm> (дата обращения: 14.11.2022).

Forte A., Rowley D.B. Earth's Isostatic and Dynamic Topography – A Critical Perspective // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2022. Vol. 23. Is. 9, e2021GC009740. doi:10.1029/2021GC009740

Nazarov D.V., Nikolskaia O.A., Zhigmanovskiy I.V., Ruchkin M.V., Cherezova A.A. Lake Yamal, an ice-dammed megalake in the West Siberian Arctic during the Late Pleistocene, ~60-35 ka // Quaternary Science Reviews. 2022. Vol. 289, 107614. doi: 10.1016/j.quascirev.2022.107614

Panin A.V., Astakhov V.I., Lotsari E., Komatsu G., Lang J., Winsemann J. Middle and Late Quaternary glacial lake-outburst floods, drainage diversions and reorganization of fluvial systems in northwestern Eurasia // Earth-Science Reviews, 2020. Vol. 201. 103069. doi: 10.1016/j.earscirev.2019.103069

Tadono T., Nagai H., Ishida H., Oda F., Naito S., Minakawa K., Iwamoto H. Initial Validation of the 30 m-mesh Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. No. XLI-B4. P. 157-162. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-157-2016

VERIFICATION OF THE ALTITUDE POSITION OF THE GEOMORPHOLOGICAL LEVELS OF THE NORTH OF WESTERN SIBERIA ON THE AW3D30 DEM

Sizov O.S.

Oil and Gas Research Institute of RAS, Moscow, Russia

Based on the digital elevation model AW3D30, a comparative analysis of the histogram of the altitudinal distribution in the north of the largest territories (Yamal, Gydan, the interfluvium of the Ob and Yenisei) relative to the Vasyugan interference, the Baraba and the Caspian lowlands was carried out. The lower geomorphological level, common for the north of vast Siberia, has been confirmed in the range from 0 to 10-11 m (the level of laid and Holocene marine transgression). In the range from 10 to 60 m, different levels of lacustrine-alluvial terraces are used for different areas. Above 60 m, single-level sections that could be correlated with leveled marine terraces are not traced in the relief. The hypsometric profile of the Nadym-Purovsky region, which differs from the profile above the Caspian lowland, is also a convention of highlighting high geomorphological levels (IV marine terrace and between).

Keywords: *Western Siberia, geomorphological level, transgression, digital elevation model, sea terrace*