

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

## ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 911.52 + 551.43

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

### СОВРЕМЕННОЕ РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ В ЛАНДШАФТЕ ДЕЛЬТЫ ВОЛГИ (НА ПРИМЕРЕ ГРУППЫ БУГРОВЫХ УРОЧИЩ)

Виктор Валерьевич Занозин<sup>1</sup>, Александр Николаевич Бармин<sup>2</sup>, Валерий Владимирович Занозин<sup>3</sup>,  
Михаил Викторович Валов<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева, г. Астрахань, Россия

<sup>1</sup> victor\_z94@mail.ru, Author ID: 791171, Scopus ID: 57208255626, SPIN-код: 5840-4892

<sup>2</sup> abarmin60@mail.ru, AuthorID: 86224, Scopus ID: 55221009800, SPIN-код: 4110-3342

<sup>3</sup> vvzanzozin-67@mail.ru, AuthorID: 128263, SPIN-код: 9388-9900

<sup>4</sup> m.v.valov@mail.ru, AuthorID: 778729, Scopus ID: 57212871601, SPIN-код: 1040-4205

**Аннотация:** Современное рельефообразование, особенно экзогенное, всегда связано с ландшафтными особенностями того региона, в котором оно отмечается. Нередко этому способствует антропогенное воздействие на геосистемы различного ранга. Возникающие формы рельефа часто формируются в результате взаимодействия целого ряда факторов. В статье приведены результаты исследования отрицательных форм рельефа, в основном в виде провалов, провальных трещин и траншей, которые в последние годы формируются в непосредственной близости от бэровских бугров и окружающих их урочищ, расположенных в пределах центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга. Приводятся их морфологические и морфометрические показатели. Рассматриваются как природные предпосылки, так и антропогенные факторы возникновения данных форм рельефа. К естественным особенностям изучаемого подрайона ландшафта дельты Волги относятся находящиеся в целом на горизонтальной и субгоризонтальной поверхностях гряды, получившие в научной литературе название бэровские бугры или бугры Бэра, способствующие возникновению временного поверхностного стока. Другим фактором природного генезиса является наличие в рассматриваемой группе урочищ так называемых «шоколадных» глин хвалынского возраста, залегающих обычно на комплексе гранулометрически неоднородных пород. В некоторой степени возникновению исследуемых форм рельефа способствовали климатические флуктуации, фиксируемые в районе проведения исследований. К антропогенным предпосылкам следует отнести существенные изменения естественного рельефа в ходе хозяйственного использования ландшафта дельты Волги. В качестве рабочей гипотезы другой причиной возникновения исследуемых форм рельефа рассматривается снижение уровня грунтовых вод, обусловленных снижением объемов и продолжительности весеннего половодья в низовьях Волги. На основании полученных результатов, а также с учетом отсутствия в дельте Волги карстующегося субстрата и короткого периода формирования генетический тип формируемого рельефа определен как антропогенный псевдокарст.

**Ключевые слова:** ландшафт, псевдокарст, дельта Волги, урочище, рельеф

**Финансирование:** Исследование выполнено при финансовой поддержке Астраханского государственного университета им. В.Н. Татищева в рамках проектов «Анализ геодинимических и геоморфологических преобразований Прикаспийской низменности радиолокационными методами наземного и космического типа (на примере дельты Волги)» и «Проектирование электронного репозитория о геосистемах дельты Волги».

**Для цитирования:** Занозин В. В., Бармин А. Н., Занозин В. В., Валов М. В. Современное рельефообразование в ландшафте дельты Волги (на примере группы бугровых урочищ) // Географический вестник = Geographical bulletin. 2023. № 4(67). С. 27–40. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

## PHYSICAL GEOGRAPHY, LANDSCAPES AND GEOMORPHOLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

### MODERN RELIEF-FORMING PROCESSES IN THE VOLGA DELTA LANDSCAPE (A CASE STUDY OF A GROUP OF KNOLL TRACTS)

Viktor V. Zanozin<sup>1</sup>, Alexander N. Barmin<sup>2</sup>, Valery V. Zanozin<sup>3</sup>, Mikhail V. Valov<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan, Russia

<sup>1</sup> victor\_z94@mail.ru, Author ID: 791171, Scopus ID: 57208255626, SPIN-код: 5840-4892

<sup>2</sup> abarmin60@mail.ru, AuthorID: 86224, Scopus ID: 55221009800, SPIN-код: 4110-3342

<sup>3</sup> vvzanzozin-67@mail.ru, AuthorID: 128263, SPIN-код: 9388-9900

<sup>4</sup> m.v.valov@mail.ru, AuthorID: 778729, Scopus ID: 57212871601, SPIN-код: 1040-4205



*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология**Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.*

**Abstract:** Modern relief-forming processes, especially exogenous, are always associated with the landscape features of the region where they are observed. Anthropogenic impact on geosystems of different ranks often contributes to these processes. Emerging landforms often result from the interaction of a number of factors. The article presents the results of studies of negative landforms, mainly in the form of dips, fissures, and trenches, which in recent years began to form in the vicinity of the Baer knolls and their surrounding geosystems, located within the central subregion of the Volga Delta landscape. The paper provides their morphological and morphometric parameters. Both natural prerequisites and anthropogenic factors of the occurrence of these landforms are considered. Natural peculiarities of the studied Volga Delta landscape subregion include the presence of ridges on the horizontal and subhorizontal surface, called Baer knolls in the scientific literature, which contributes to the occurrence of temporary surface runoff. Another factor of natural genesis is the presence in the studied group of tracts of the so-called 'chocolate' clays of Khvalynsky age, usually deposited on a complex of granulometrically heterogeneous rocks. To some extent, climatic fluctuations recorded in the study area contributed to the emergence of the landforms. Anthropogenic preconditions include significant changes in natural relief during the economic use of the Volga Delta landscape. As a working hypothesis, another reason for the emergence of the studied landforms is seen in a decrease in the ground water level due to the reduced volume and duration of spring floods in the lower Volga. Based on the obtained results and taking into account the absence of karst substrate in the Volga Delta and a short period of formation, the genetic type of the formed relief is defined as anthropogenic pseudokarst.

**Keywords:** landscape, pseudokarst, Volga Delta, geosystems, relief

**Funding:** the study was financially supported by Astrakhan Tatishchev State University as part of projects 'Analysis of geodynamic and geomorphological transformations of the Caspian lowland by ground and space radar methods (a case study of the Volga Delta)' and 'Designing a digital repository of the geosystems of the Volga Delta'.

**For citation:** Zanozin, V.V., Barmin, A.N., Zanozin, V.V., Valov, M.V. (2023). Modern relief-forming processes in the Volga Delta landscape (a case study of a group of knoll tracts). *Geographical Bulletin*. No. 4(67). Pp. 27–40. DOI: 10.17072/2079-7877-2023-4-27-40

### Введение

Современное рельефообразование является неотъемлемой частью развития ландшафтной сферы Земли. Во многом этому способствует взаимодействие различных компонентов и элементов геосистем, выступающих в роли рельефоформирующих факторов. Имея чаще всего естественное происхождение, они могут быть усилены или ослаблены антропогенным воздействием. Возникающие неровности земной поверхности характеризуются разнообразием своих морфологических и морфометрических показателей.

На протяжении последних нескольких лет в ходе исследования особенностей морфологической структуры центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга были зафиксированы отрицательные формы рельефа [16]. Это провалы, провальные трещины и траншеи, формирование которых происходит в группе урочищ бэровских бугров. Их внешние характеристики, с учетом литологических особенностей исследуемого региона, свидетельствовали о вероятной принадлежности к типу рельефа, который в научной литературе получил различное название: псевдокарст, кластокарст, глинистый карст или глинистый псевдокарст, лессовый псевдокарст и т.д. [17–19; 22; 27–28]. В ходе многолетней дискуссии о сущности и отличии карста и псевдокарста исследователи пришли к пониманию того, что последний представляет собой процесс, в результате которого возникают внешне схожие с карстовыми формы рельефа, но имеющие иное происхождение, часто не связанное с растворением горных пород [2; 9; 12–13].

Обнаруженные формы рельефа отмечались в определенных морфологических единицах данного ландшафта ранга урочище. Следовательно, в их формировании необходимо учитывать комплексное взаимодействие различных факторов. Следует отметить, что какие-либо сведения об исследуемых объектах в многочисленных публикациях, посвященных как отдельным компонентам природы дельты Волги, так и сформировавшемуся здесь ландшафту и его структуре, отсутствуют. Появление форм рельефа генетического типа, не характерного для региона исследований, представляет как научный, так и практический интерес. В первом случае он обусловлен своей новизной, а во втором – негативным воздействием на хозяйственную деятельность, которая будет усиливаться или ослабевать в зависимости от дальнейшего развития процесса. Цель выполненного исследования заключалась в установлении генетического типа обнаруженных форм рельефа. В задачи исследования входили фиксирование расположения возникающих форм рельефа, определение их морфологических и морфометрических показателей, установление предпосылок возникновения как природных, так и

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
 Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

антропогенных, указание направлений дальнейшего исследования нового для данного региона типа рельефа.

### Район, материалы и методы исследований

Исследованные формы рельефа фиксируются в группе бугровых урочищ, распространенных в пределах центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга (рис. 1). В нее входят урочища бэровских бугров (или бугров Бэра), шлейфов, окружающих бугры и урочища межбугровых понижений высокого, среднего и низкого уровней. Урочища бэровских бугров, или бугров Бэра, получили широкое распространение как в Прикаспийской низменности, так и дельте Волги (рис. 2). Особенности их распространения, геологического строения, морфологии и происхождения посвящено большое количество публикаций [4–5;10;21;23–25].

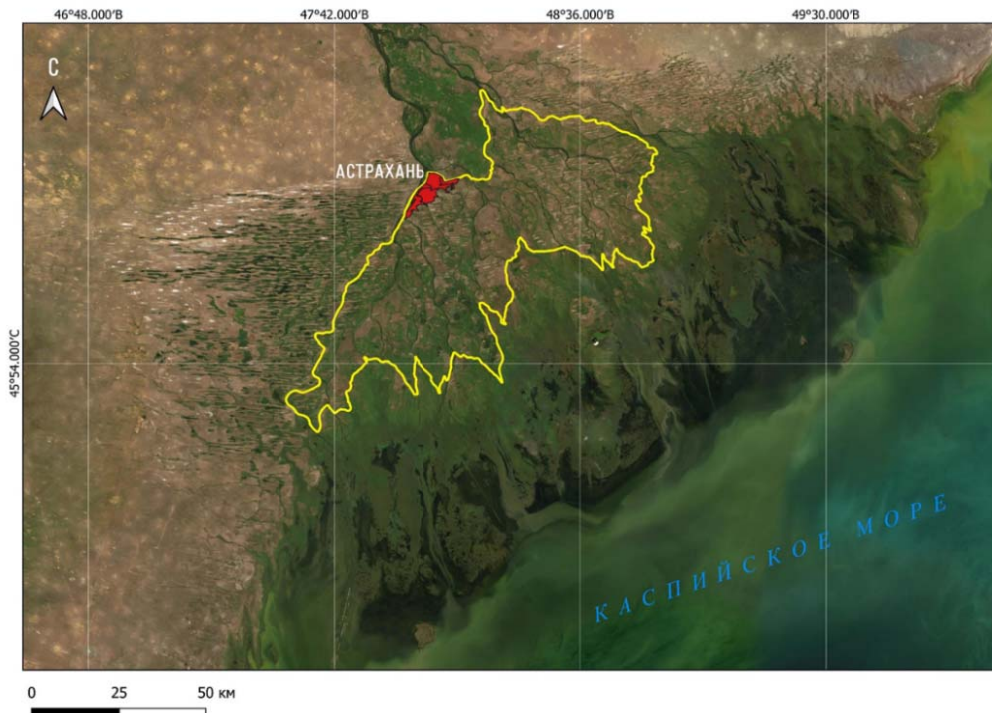


Рис. 1. Центральный подрайон ландшафта дельты Волги  
 Fig. 1. The central subregion of the Volga Delta landscape

Именно бэровские бугры придают своеобразный облик морфологической структуре центрального подрайона ландшафта дельты Волги, выступая в роли своеобразных ландшафтных реперов рассматриваемого региона.

В большинстве случаев бугры окружены шлейфами. Это полого-наклонные равнины, которые по своему происхождению представляют собой делювий, который накапливается у подножия бугров. Если верхняя часть шлейфа соприкасается непосредственно с телом бугра, то нижняя может взаимодействовать с любым урочищем, окружающим бэровский бугор. Чаще всего наиболее четко выделяется северная половина шлейфа, примыкающая к более крутому склону бугра. Пологий южный склон переходит в шлейф очень плавно, что нередко вызывает трудности в его диагностике. Определение ширины шлейфов всегда является проблематичным. Они могут залегать на русловых или култучных отложениях, могут быть покрыты ими, что и приводит к колебаниям данного морфометрического показателя. Бэровские бугры с окружающими их шлейфами плавно переходят в межбугровые урочища высокого, среднего и низкого уровней, которые в рельефе представлены пологонаклонными и пологовогнутыми равнинными участками.



Рис. 2. Бэровский бугор в центральном подрайоне ландшафта дельты Волги (бугор 2-й Сахминский, фото авторов).

Хорошо просматривается наиболее крутой восточный склон  
 Fig. 2. Baer knoll in the central subregion of the Volga Delta landscape (2nd Sakhminsky knoll, photo by authors).  
 The craged eastern slope is well visible.

Анализ пространственного размещения ПТК данной группы показывает три наиболее крупных места их концентрации. Первое располагается на западе исследуемого подрайона ландшафта дельты Волги, между рукавами Бахтемир и Волга. Кроме этого, наибольшая концентрация группы бугровых урочищ отмечается к югу и юго-востоку от г. Астрахани, а также к юго-востоку и югу от поселка Володарский. Помимо перечисленных участков концентрация бэровских бугров и сопутствующих им урочищ отмечается на юго-западе и северо-востоке центрального подрайона ландшафта дельты р. Волги [15].

Основным видом работ стали детальные полевые маршрутные исследования. Это во многом обусловлено отсутствием первичной информации о расположении объектов исследования, что требовало тщательного обследования перечисленной группы ПТК. Полевые маршруты выбирались также с учетом данных дистанционного зондирования Земли. В полевых условиях для зафиксированных форм рельефа определялись морфометрические и морфологические показатели, а также координаты местоположения. В ходе исследования объектов проводились фото и видео съемка.

Литологические особенности стенок провалов, поверхностных отложений выявлялись как в ходе полевых исследований, так и в последующей камеральной обработке взятых образцов. Гранулометрический состав пород в полевых условиях определялся с применением так называемого «сухого» и «мокрого» (по А.Н. Качинскому) методов. Полученные первичные данные уточнялись, для чего использовался стереоскопический микроскоп МС-1 вар.2 С Digital. Для определения углов наклона поверхности в полевых условиях был адаптирован электронный уровень Prolevel 40. Работа с базами пространственных данных, статистический анализ, процедуры полноценной визуализации и географический анализ осуществлялись с применением геоинформационного метода исследования (ГИС).

### Результаты исследования

Объекты исследования в большинстве случаев представляют собой вертикальные провалы глубиной до 3–4 м (рис. 3). Форма входного отверстия различная: цилиндрическая, овальная, в форме многоугольника или имеет нечеткую конфигурацию. Вокруг многих горловин фиксируются трещины отседания шириной до 1,5–2 см, что свидетельствует о горизонтальном росте исследуемых форм рельефа. Ширина провалов по длинной оси колеблется от нескольких десятков сантиметров до 3–5 м.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.



Рис. 3. Провал псевдокарстового происхождения глубиной около 3,5 м, сформировавшийся в межбугровом понижении высокого уровня (длина рейки 120 см, фото авторов)  
Fig. 3. A pseudokarst hole with a depth of about 3.5 m, formed in a high-level knoll depression (length of the stick is about 120 cm, photo by authors).

Ограничивающая их от окружающего пространства бровка горловины имеет в большинстве случаев четко выраженный характер, реже – переход слегка плавный. При глубинах до одного метра и понижающимся к центру днищем провалы приобретают чащеобразную форму, нередко вытянутую по длинной оси. Если стенки провала строго вертикальны, он принимает форму входного отверстия. Когда они вогнуты относительно его центра, провал приобретает сосудобразные очертания. Ровные стенки, резко уходящие от бровки в стороны, обеспечивают исследуемым объектам форму усеченного конуса. Необходимо отметить, что в ходе достаточно интенсивного развития форма провалов может меняться. Поверхность стенок провалов осложнена многочисленными трещинами шириной до 0,5–1,5 см, которые наблюдаются при осмотре провалов в полевых условиях, и микротрещин, которые отмечаются у взятых образцов при их осмотре под микроскопом. В результате поверхность стенок приобретает блоково-мозаичный характер. Дно провалов обычно неровное, что свидетельствует о разрушении блока породы после обрушения, которое происходит очень быстро. Доказательством этого могут служить четкая бровка горловины и часто фиксируемые на дне вегетирующие и даже цветущие растения, например, тюльпаны двуцветковые (*Tulipa biflora* Pall.). У многих провалов по краям дна отмечаются отверстия подземных эрозионных каналов диаметром до 30–40 см, уходящих в толщу окружающей провал породы в сторону и вниз, что свидетельствует об их более сложном устройстве. В ходе полевых исследований были зафиксированы также провальные трещины и траншеи, которые при ширине от нескольких десятков сантиметров до 2–3 м и аналогичной глубине достигают нескольких десятков метров в длину (рис. 4).

Провальные траншеи формируются на базе трещин или в результате постепенного слияния провалов. В плане они имеют вид прямых или ломаных линий. Несколько реже в рельефе отмечаются останцы эрозионных ходов с перемычками. Они также возникают при сближении располагающихся вблизи провалов по мере их роста в ширину.

В ходе проведенных исследований составлена картосхема, на которой отражены особенности местоположения исследуемых форм рельефа, а также их некоторые морфометрические показатели (рис. 5).

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

Рассматривая генезис исследуемых объектов, необходимо отметить, что в дельте Волги отрицательные формы рельефа получили широкое распространение. Однако подавляющее большинство из них создано постоянными (русловыми) водотоками различных параметров на горизонтальной и субгоризонтальной поверхностях и имеют линейный характер.



Рис. 4. Формирующаяся провальная траншея в составе трещины, расположенной в межбугровом понижении низкого уровня (фото авторов)  
Fig. 4. The forming failure trench is part of the fracture located in a low-level knoll depression (photo by authors).

Это многочисленные русловые борозды, впадины, межгрядные понижения, которые постоянно или периодически заливаются в период половодья и паводков и существенно усложняют морфологическую структуру сформировавшегося здесь ландшафта. Формы рельефа, обусловленные деятельностью плоскостного склонового стока, могли развиваться только в тех природных комплексах, в которых сложились соответствующие условия. Таковыми являются группа бугровых урочищ, образующих единую парагенетическую природную систему. Расположение исследуемых объектов в данной группе ПТК представлено на рис. 6.

Движение воды в данной группе направлено от вершин бугров Бэра к урочищам межбугровых понижений низкого уровня. Разреженный растительный покров бугров способствует некоторой концентрации плоскостного стока, в результате чего возникающие временные водные потоки формируют в средней и нижней частях склонов многочисленные эрозионные борозды. Их наличие на поверхности бугров отражено в различных публикациях, они фиксируются в ходе полевых работ и просматриваются на космических снимках.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
 Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

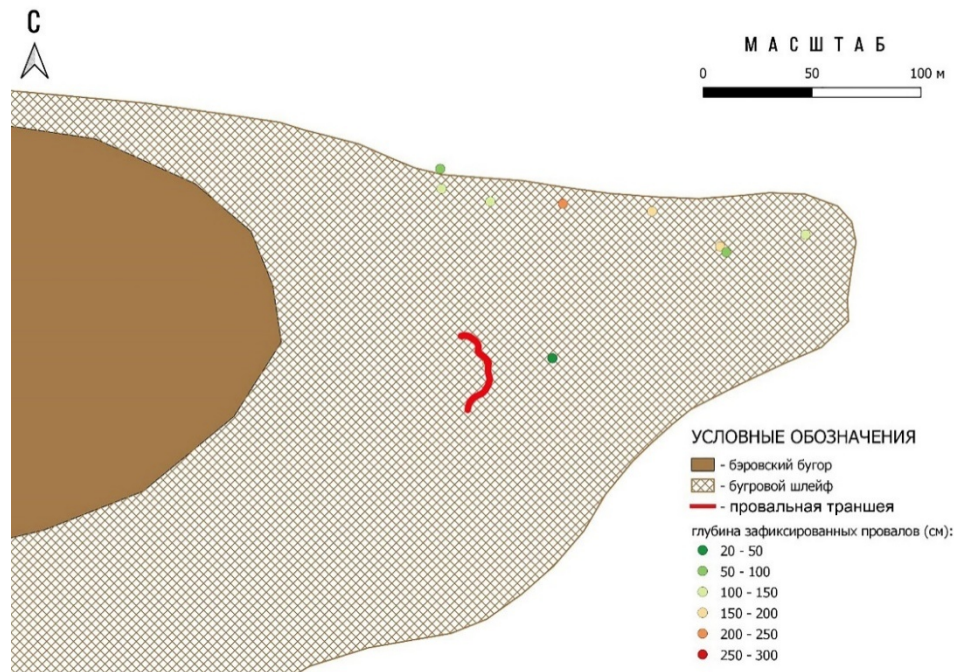


Рис. 5. Фрагмент картосхемы размещения псевдокарстовых форм рельефа в границах центрального подрайона ландшафта дельты Волги  
 Fig. 5. Map fragment of the pseudokarst landforms in the central subregion of the Volga Delta landscape.

В ходе исследований было установлено, что формирование борозд наиболее характерно для бугров со слабо нарушенной антропогенным воздействием поверхностью. Например, распашка поверхности данных урочищ в сельскохозяйственных целях всегда препятствует направлению естественного стока и, как результат, возникновению борозд. Необходимо также учитывать и литологические особенности бугров. Склоновый сток лучше формируется у гряд с суглинистой поверхностью, в то время как ряд бугров в дельте Волги сложен супесями и песками, что также подтвердилось в ходе проведенных исследований.

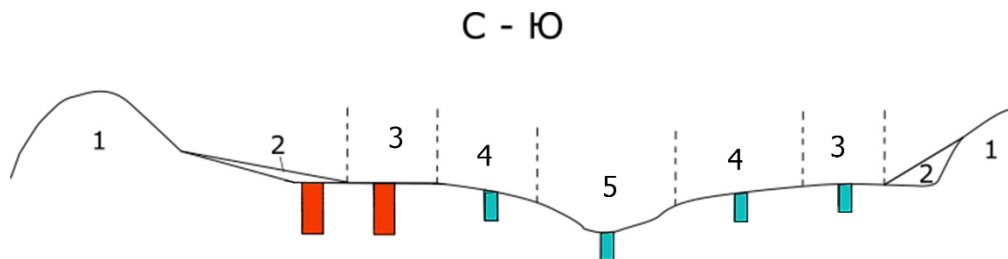


Рис. 6. Схема размещения псевдокарстовых форм рельефа в группе бугровых урочищ центрального подрайона ландшафта дельты р. Волга: 1 – бэровский бугор; 2 – шлейф, окружающий бугор; 3 – межбугровые урочища высокого уровня; 4 – межбугровые урочища среднего уровня; 5 – межбугровые урочища низкого уровня. Красным цветом показаны места наиболее вероятного расположения форм псевдокарста, зеленым – менее вероятного

Fig. 6. Illustration of pseudokarst relief forms in the group of knoll geosystems of the central subregion of the Volga Delta landscape. Legend: 1 – Baer knoll; 2 – knoll plume; 3 – a high-level knoll depression; 4 – a medium-level knoll depression; 5 – a low-level knoll depression. The most likely location of pseudokarst forms is shown in red; the less likely – in green.

Однако объем влаги, перемещающийся по бороздам, явно недостаточен для формирования исследуемых форм рельефа. Растекаясь после прохождения борозды, водные потоки обычно поглощаются делювиальным шлейфом, нередко оставляя в рельефе слабо просматриваемые конусы выноса. Растительность урочищ шлейфов, окружающих бугры, и межбугровых понижений усиливает хаотичность и снижает энергию той части склонового стока, который достигает подножий бугров. Рассматриваемая группа бугровых урочищ располагает

ется в зоне аридного климата с незначительным годовым количеством осадков, что явно недостаточно для существенной рельефообразующей деятельности воды. Таким образом, у группы бугровых урочищ в их естественном, первичном состоянии отсутствует один из главных факторов формирования рассматриваемых форм рельефа – необходимое количество влаги.

Несколько иначе процесс формирования поверхностного стока отмечается в рассматриваемой группе урочищ, существенно нарушенных деятельностью человека, что было установлено в ходе выполненных исследований. Мощное антропогенное воздействие практически на все природные комплексы дельты Волги, начавшееся в середине 70-х гг. прошлого столетия и продолжающееся с меньшей интенсивностью в настоящее время, затронуло и исследуемую группу ПТК. Отложения нижних частей склонов бугров, а также шлейфов, окружающих бугры, использовались для обваловки полей, рисовых чеков, при прокладке дорог, соединяющих сельскохозяйственные угодья. В результате на дневной поверхности оказывалась глинистая, реже суглинистая основа шлейфов, нередко являющаяся продолжением ядра бугров. Такие участки покрыты нередко плотной глинистой коркой, выполняющей экранирующую функцию для водных потоков (рис. 7).

Аналогичное происходило и при полном разрушении небольших по размерам бугров, когда в рельефе оставался лишь возвышающийся над окружающей местностью останец. Тепло относительно крупных гряд также подвергалось воздействиям в виде выемки грунта при создании оросительных систем, силосных ям и иных объектов, предназначение которых в настоящее время трудно установить. Сегодня они представлены линейно вытянутыми отрицательными формами рельефа, направление которых часто совпадает с направлением стока. Площадь водосбора на таких участках резко возрастает, а водный поток быстро перемещается по водоупорной поверхности нарушенных шлейфов, достигая их окраины. Здесь поверхность становится горизонтальной, субгоризонтальной или даже слегка вогнутой, хотя в группе ненарушенных человеком бугровых урочищ уклон продолжается вплоть до межбугровых урочищ низкого уровня. Вина этому – вновь антропогенный фактор: планиция поверхности происходила в ходе её подготовки под сельскохозяйственные угодья. Способствовали этому и откосы не функционирующих в настоящее время оросительных или дренажных систем, нередко препятствующих движению поверхностных потоков.



Рис. 7. Нарушенный антропогенной деятельностью шлейф, сформировавшийся вокруг бэровского бугра, покрыт плотной суглинистой коркой, усиливающей плоскостной сток

Fig. 7. Disturbed by anthropogenic activities, the knoll plume is covered with a dense loamy crust, which enhances the planar runoff



Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология  
 Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

В ходе хозяйственного использования на поверхности бугров возникают многочисленные грунтовые дороги, которые продолжают и в остальных урочищах данной группы. Их поверхность в некоторых случаях очень твердая, так как представлена уплотненными глинами и суглинками, а также аллювиальными отложениями поверхности межбугровых урочищ. Сами дороги, как правило, располагаются на 20–40 см ниже окружающего пространства. Возникает коллектор дождевых и талых вод, по которому они быстро достигают как окраины шлейфа, так и межбугровых понижений (рис. 8).

Возникновение провалов происходит как на горизонтальной, так и слегка вогнутой поверхности. При наличии небольших неровностей вода к их центру поступает по мелким и коротким бороздкам. Проникновению влаги вглубь способствуют вертикальная и горизонтальная трещиноватости глинистых пород, возникающие как следствие диагенеза и сокращения объема глинистых осадков в процессе их литификации в условиях засушливого климата [3; 20].

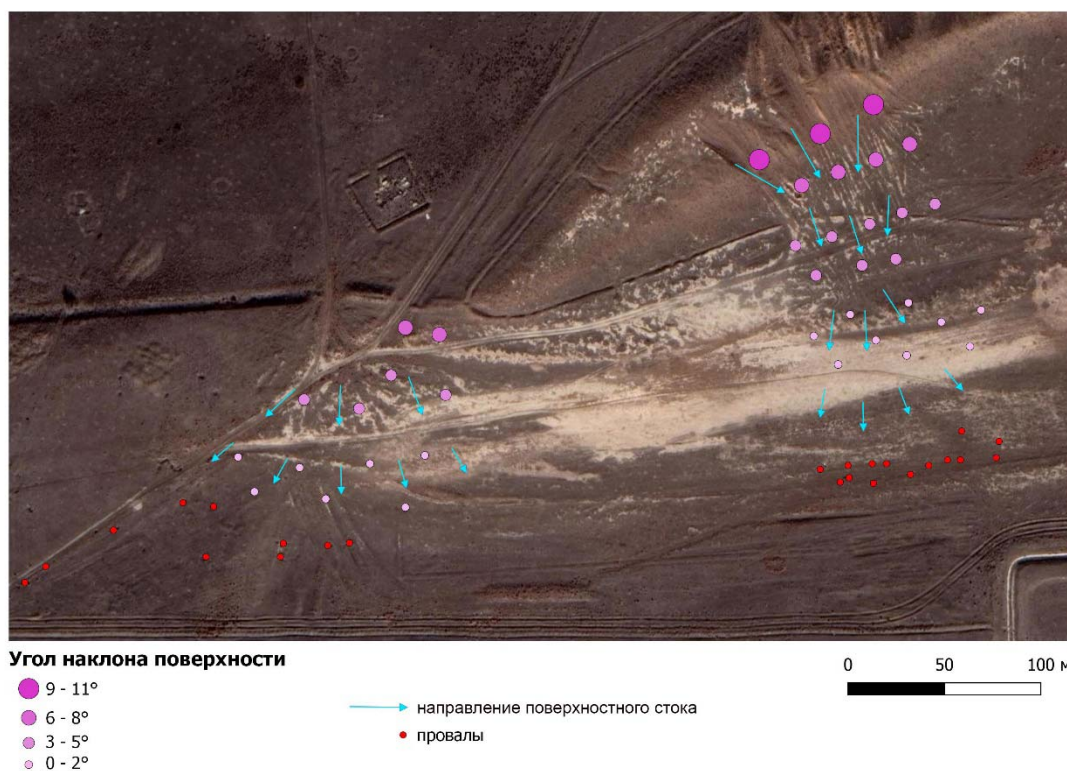


Рис. 8. Схема формирования поверхностного стока в группе бугровых урочищ, подвергшихся антропогенной трансформации (изображение взято с Google Earth)

Fig. 8. Illustration of surface runoff formation in a group of knoll geosystems with anthropogenic transformation (the image was taken from Google Earth)

В ходе проведенных исследований было зафиксировано, что трещины могут возникнуть как в толще глинистых отложений, так и наилка черного цвета мощностью до 30–40 см, что наиболее характерно для урочищ межбугровых понижений. Здесь илистые отложения могут также залегать непосредственно на песчано-супесчаном субстрате. Наиболее интенсивно трещины в этом случае формируются на участках с грунтовыми дорогами. После попадания воды в систему трещин их росту способствуют эрозионная деятельность потока, а также химическая и механическая суффозии. Первый тип суффозии обусловлен наличием в хвалынских, или шоколадных, глинах водорастворимых сульфатов и хлоридов, гипса и карбонатов, которые встречаются в виде выделений различной формы и хорошо просматриваются на стенках формирующихся провалов в виде присыпки. Развитию механической суффозии способствуют неоднородность состава в целом глинистой толще пород, в которых происходит формирование исследуемых форм рельефа, а также особенности ее текстуры.

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология*  
*Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.*

В основной массе глинистых минералов присутствуют легкая и тяжелые фракции песчано-алевритовой составляющей, при этом мелкоалевритовая фракция может достигать 35%. Песчано-алевритовый материал может равномерно распределяться по всей толще глинистых отложений или же в результате чередования с глинистыми отложениями происходит возникновение чаще горизонтально-слоистой текстуры, что также нарушает монолитность толщи пород [6; 25–26].

Проходящая сквозь глинистую толщу вода достигает песчаных отложений различного механического состава с преобладанием мелкозернистых песков, с включением глин, суглинков и водорастворимых соединений, в основном хлоридов и сульфатов. Данные отложения в большинстве случаев имеют слоистое залегание, что обуславливает появление зоны контакта пород, различных по плотности и составу. Таким образом вновь создаются условия как для подземной эрозии, так и химической и механической суффозии и возникновению полостей обрушения, а в дальнейшем провалов. Формирование горизонтальных каналов в нижней части провалов как следствие подземной эрозии и их дальнейшее обрушение обуславливают, по всей вероятности, возникновение провальных трещин, эволюционирующих в дальнейшем в провальные траншеи, что наиболее характерно для межбугровых урочищ среднего и низкого уровней.

Проводимые исследования показали, что ряд условий, необходимых для возникновения провалов, таких как антропогенные нарушения рельефа, особенности глинистых отложений, в исследуемом регионе отмечаются уже на протяжении, как минимум, двадцати – тридцати лет, однако рассматриваемые формы рельефа возникли в пределах последних пяти лет. Ответ на данный вопрос требует своего подтверждения путем проведения дальнейших исследований. В последние десятилетия в дельте Волги фиксируется значительное снижение как уровней отметок, так и продолжительности весеннего половодья [8]. Сельское хозяйство в регионе, где преобладают залежные земли [14], традиционно было ориентировано на орошаемое земледелие, однако в современных условиях – на так называемое капельное орошение, для которого характерно гораздо меньшее использование объемов воды по сравнению с прежними агротехнологиями. Это привело к снижению уровня грунтовых вод, косвенным подтверждением чего служат многочисленные сухие как оросительные, так и дренажные системы, ранее сформированные в пределах центрального подрайона ландшафта дельты Волги. Изменение уровня режима обусловило нарушение относительно спокойных гидродинамических условий в гранулометрически неоднородных пластах пород, подстилающих как глинистые, так и илистые отложения группы бугровых урочищ, и спровоцировало начало как суффозионных процессов, так и подземной эрозии.

В некоторой степени причиной формирования исследуемых объектов можно считать отмечаемые изменения климатических условий в дельте Волги. Со второй половины XX в. существует тенденция увеличения количества лет с аномально высоким количеством осадков, что в совокупности с существующим трендом на повышение температуры позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение количества более теплых и влажных лет [7]. Весь комплекс факторов обусловил возникновение форм рельефа, которые по своему генезису и морфологии можно отнести к так называемому псевдокарсту. Быстрое возникновение, как и, возможно, дальнейшее резкое угасание свидетельствуют об его антропогенной природе [1].

Проведенные исследования и их продолжение имеют большое практическое значение. Возникающие формы рельефа, с учетом скоротечности их возникновения, создают определенные проблемы для движения автотранспорта, в том числе по грунтовым дорогам, препятствуют работе техники на сельскохозяйственных угодьях. Фиксируются случаи попадания в провалы молодняка крупного рогатого скота. Данные исследования с большой долей вероятности позволяют выявить специфику возникновения провальных явлений на территории г. Астрахани.

Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

### Заключение

В ходе проведенного исследования было установлено, что на протяжении последних лет в центральном подрайоне ландшафта дельты р. Волга происходит образование форм рельефа, по своему генезису и морфологии соответствующих псевдокарсту. Скоротечность возникновения свидетельствует о большой роли антропогенной составляющей в их появлении и дальнейшем развитии. Исследуемые отрицательные формы рельефа представлены в основном провалами, провальными трещинами и траншеями, реже – останцами эрозионных ходов, возникающих при слиянии провалов. Образование исследуемых форм рельефа происходит в группе бугровых урочищ, в которую входят бэровские бугры, окружающие их делювиальные шлейфы, а также межбугровые урочища различного уровня. Рассматриваемые формы возникают, как правило, в антропогенно нарушенных геосистемах. Все предпосылки формирования можно разделить на две группы: природные и антропогенные. К природным относятся существующие положительные формы рельефа – бугры Бэра, что обуславливает развитие временного поверхностного стока. В эту группу факторов входят и шоколадные глины, выполняющие роль свода над формируемыми под ними полостями обрушения. Данные полости возникают за счет процессов химической и механической суффозии, а также подземной эрозии, происходящих в гранулометрически неоднородных пластах пород, в основном представленных песками. В качестве антропогенных факторов выступают техногенные нарушения рельефа, обуславливающие концентрацию поверхностного стока, а также выход на дневную поверхность шоколадных глин или суглинков, что снижает водопроницаемость поверхности и ускоряет скорость временных водотоков и, как следствие, объем собираемой влаги. Рабочая гипотеза антропогенной причины возникновения провалов предусматривает вероятное снижение уровня грунтовых вод в районе исследования, связанное со снижением объемов и особенно продолжительности весеннего половодья. Планируется дальнейшее исследование антропогенного псевдокарста в дельте Волги. В ходе полевых работ фиксируются координаты и основные параметры вновь обнаруживаемых провалов. Эти данные затем используются для обновления соответствующей картосхемы, что в перспективе позволит более глубоко понять механизм образования исследуемых форм рельефа. Предполагается определение роли биогенного фактора в формировании псевдокарста, выявление негативных последствий его возникновения. К числу перспективных направлений проводимого исследования следует отнести определение соотношения роли суффозионных процессов и подземной эрозии в формировании изучаемых форм рельефа. Работы по выявлению форм псевдокарстового рельефа планируется провести в Западном и Восточном ильменно-бугровых ландшафтах, в морфологическую структуру которых также входят исследуемые урочища.

### Список источников

1. Андрейчук В.Н. Определение антропогенного карста. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 89 с.
2. Андрейчук В.Н. Проблема псевдокарста // Проблема псевдокарста: т. докладов совещания. Пермь, 1992. С. 3–6.
3. Архипов С.А. К литолого-фациальной характеристике хвалыньских шоколадных глин и условиям их образования // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. 1958. № 22. С. 19–25.
4. Бадюкова Е.Н. Новые данные о морфологии и строении бэровских бугров // Геоморфология. 2005. №4. С. 25–38.
5. Белевич Е.Ф. О происхождении бугров Бэра // Геоморфология. 1979. № 2. С. 57–68.
6. Букина Т.Ф. Гранулометрический состав и условия формирования четвертичных отложений левобережья Волги на участке от с. Березовка до с. Хмелевка (Саратовский район) // Вопросы геологии Южного Урала и Поволжья. 1980. № 21. С. 64–77.
7. Валов М.В., Колотухин А.Ю., Бармин А.Н., Зимовец П.А., Занозин В.В. Оценка режимов природной тепло- и влагообеспеченности дельты реки Волги // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7 (73). № 1. С. 212–225.
8. Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Татаринцев С. А., Синцов А. В. Дельта реки Волги: статистические тренды водного режима // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2021. Вып. 4 (20). С.35–42.
9. Гидрогеология и карстоведение: межвуз. сб. научн. тр. / Перм. гос. ун-т; Ин-т карстоведения и спелеологии; Межд. акад. наук экологии, безопасности человека и природы. Вып. 13. Уральское отд-ние. Пермь, 2000. 335 с.
10. Головачев И.В. О буграх Бэра и их происхождении // Геология, география и глобальная энергия. 2017. № 4 (67). С.139–149.

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

11. Дельта Волги. Эволюция природной среды в условиях изменений климата / Т.А. Янина, Н.С. Болиховская, Е.И. Полякова, А.А. Свиточ, Е.Н. Бадюкова, Р.Р. Макшаев, Д.М. Лобачева, Е.И. Штыркова. М.: Изд-во Моск. ун-та, ООО «Красногорская типография», 2019. 168 с.
12. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Понятие “псевдокарст” и его сущность // Проблема псевдокарста: тез. докл. совещ. / Кунгур. лаб.-стационар ГИ УрО РАН. Пермь, 1992. С.6–9.
13. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Карст и псевдокарст - их отношения и типология // Гидрогеология и карстоведение. 2000. Вып. 13.С. 185–194.
14. Занозин В.В., Бармин А.Н. Анализ современного использования природно-территориальных комплексов ландшафта дельты реки Волга в сельскохозяйственных целях // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64. № 2. С. 186–195.
15. Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин Вик. В. Анализ пространственного размещения и площадных показателей группы бугровых урочищ центральной части ландшафта дельты р. Волги // Тридцать шестое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: докл. и крат. сообщения. Ижевск, 2021. С. 95–96.
16. Занозин В.В., Занозин В.В. Некоторые особенности формирования глинистого карста в центральном подрайоне ландшафта дельты Волги // Географические науки и образование: мат. XV Всер. науч.-практ. конф.. Астрахань, 2022. С.92–94.
17. Лаврусевич А.А. Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий на территориях пораженных лесовым псевдокарстом // Инженерные изыскания. 2010. № 10. С. 20–23.
18. Лаврусевич А.А., Цуцупа Т. А., Салдин В. А., Лаврусевич И. А. Фитогенный псевдокарст и условия его формирования // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2021. № 1. С. 39–47
19. Максимович Г.А. Основы карстоведения. Т.1. // Вопросы морфологии карста, спелеологии и гидрогеологии карста. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. С. 12.
20. Приклонский В.А., Горькова И.М., Окينا Н.А. и др. Инженерно-геологические особенности хвалыньских глинистых пород в связи с условиями их формирования // Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР им. Ф.П. Саваренского. 1956. Т.13. 152 с.
21. Рычагов Г.И. Бэровские бугры // Тр. Прикаспийской экспедиции. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1958. С. 190–223.
22. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2006. С. 232–233.
23. Рычагов Г.И. Новые данные о генезисе и возрасте бэровских бугров // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2009. № 5. С. 59–68.
24. Свиточ А.А., Ключиткина Т.С. Бэровские бугры - загадка Северного Прикаспия // Природа. 2004. № 2. С. 32–38.
25. Свиточ А.А., Ключиткина Т.С. Бэровские бугры Нижнего Поволжья. М.: Изд-во Россельхозакадемии, 2006. 160 с.
26. Свиточ А.А., Макшаев Р.Р., Ростовцева Ю.В., Ключиткина Т.С., Березнер О.С., Трегуб Т.Ф., Хомченко Д.С. Шоколадные глины Северного Прикаспия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. 140 с.
27. Knebel W. Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene // Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien. Heft 15 Braunschweig: Friederich: Vieweg und Sohn, 1906. 222 p.
28. Richthofen von F. China: Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien. Berlin: Verlag von Dietrich Reimer, 1877. Band 1. Vol. 1. 726 p.

## References

1. Andrejchuk, V.N. (1991), *Opredelenie antropogennogo karsta* [Determination of anthropogenic karst]. Sverdlovsk: UrO AS USSR, USSR, 1991.
2. Andrejchuk, V.N. (1992), “Problem of pseudokarst”, *Tezisy dokladov soveshchaniya. Theses of reports of meeting*, Perm, 1992, pp. 3–6.
3. Arhipov, S.A. (1958), “On the lithological and facial characteristics of Khvalynsky chocolate clays and the conditions of their formation”, *Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda*, no. 22, pp. 19–25.
4. Badyukova E.H. (2005), “New data on morphology and structure of Baer's Mounds”, *Geomorphology*, no. 4, pp. 25–38.
5. Belevich, E.F. (1979), “About the Baer's Knolls origin”, *Geomorphology*, no. 2, pp. 57–68.
6. Bukina, T.F. (1980), “Granulometric composition and formation conditions of Quaternary sediments of the left bank of the Volga in the area from Berezovka village to Khmelevka village (Saratov district)”, *Voprosy geologii Yuzhnogo Urala i Povolzhye*, no. 21, pp. 64–77.
7. Valov, M.V., Kolotukhin, A.Yu., Barmin, A.N., Zimovets, P.A. and Zanozin, V.V. (2021), “Estimation of Regimes of Natural Heat and Moisture Supply in the Volga River Delta”, *Uchyonye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, vol. 7(73), no 1, pp. 212–225.
8. Valov, M. V., Kolotukhin, A. Yu., Barmin, A. N., Tatarintsev, S. A. and Sintsov, A. V. (2021), “Volga river Delta: statistical trends of water regime”, *Proceedings of the T.I.Vyazemsky Karadag scientific station - Nature Reserve of the Russian Academy of Sciences*, vol. 4(20), pp. 35–42.
9. Hydrogeology and karstology: Interuniversity collection of scientific works (2000), Perm State University, Institute of karstology and speleology; International Academy of Sciences of Ecology, Human and Nature Safety, vol. 13, Ural Branch, Perm, Russia.
10. Golovachev, I.V. (2017), “Baer hillocks and their origins”, *Geology, geography and global energy*, no. 4(67), pp. 139–149.
11. Yanina, T.A., Bolikhovskaya, N.S., Polyakova, E.I., Svitoch, A.A., Badyukova, E.N., Makshaev, R.R., Lobacheva, D.M. and Shtyrkova E.I. (2019), *Evolyuciya prirodnoj sredy v usloviyah izmenenij klimata* [Evolution of natural environment under climate change], in Yanina, T.A. (ed.), Krasnogorsk Printing House LLC, Moscow, Russia.
12. Dublyanskaya, G.N. and Dublyansky, V.N. (1992), “The concept of "pseudokarst" and its essence”, *Problem of pseudokarst: proceedings of the meeting*, Kungur. lab.-stationary GI UrO RAS, Perm, pp. 6–9.
13. Dublyanskaya, G.N. and Dublyansky, V.H. (2000), “Karst and pseudokarst - their relations and typology”, *Hydrogeology and Karstology*, vol. 13, pp. 185–194.

## Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология

Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.

14. Zanozin, V.V. and Barmin, A.N. (2020), "Analysis of the modern use of natural territorial complex of the Volga river Delta landscape for the agricultural purposes", *Izvestia VUZOV. Geodesy and aerophotosurveying*, vol. 64 (2), pp. 186–195.
15. Zanozin, V.V., Barmin, A.N. and Zanozin, Vik.V. (2021), "Analysis of spatial distribution and area indices of a group of hillocks of the central part of the Volga River delta landscape", *Thirty-sixth plenary interuniversity coordination meeting on the problem of erosion, channel and estuary processes*, Izhevsk, Russia, pp. 95–96.
16. Zanozin V.V. and Zanozin V.V. (2022), "Some peculiarities of clay karst formation in the central sub-region of the Volga delta landscape", *Geograficheskie nauki i obrazovanie*, [Geographical Sciences and Education], *Proc. of XV All-Russian Scientific and Practical Conference*, Astrakhan, Russia, pp. 92–94.
17. Lavrusevich, A.A. (2010), "Some peculiarities of engineering geological surveys in areas affected by loess pseudokarst", *Engineering surveys*, vol.10, pp. 20–23.
18. Lavrusevich, A.A., Tsutsupab, T.A., Saldinc, V.A. and Lavrusevich, I.A. (2021), "Phytogenic pseudokarst and conditions of its formation", *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocriology*, vol. 1, pp. 39–47.
19. Maksimovich, G.A. (1963), "Fundamentals of karstology", in *Problems of karst morphology, speleology and hydrogeology of karst*, vol.1, Perm: Perm Book Publishing House, pp. 12.
20. Prilonsky, V.A., Gorkova, I.M., Okina, N.A. et al. (1956), "Engineering-geological features of Khvalyn clayey rocks in connection with conditions of their formation", *Proceedings of the Laboratory of Hydrogeological Problems of the USSR Academy of Sciences named after F.P. Savarensky*, vol. 13, 152 p.
21. Rychagov, G.I. (1958), "Baer knolls", *Proc. of Prikaspiyskaya Expedition*, Moscow: Moscow University Press, pp. 190–223.
22. Rychagov, G.I. (2006), *Obshchaya geomorfologiya* [General geomorphology], 3ed ed., Moscow State University: Nauka, Moscow, Russia.
23. Rychagov, G.I. (2009), "New data on the genesis and age of the Baer knolls", *Vestn. Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geogr. Ser. 5. Geography*, no. 5, pp. 59–68.
24. Svitoch, A.A. and Klyuvitkina, T.S. (2004), "Baier hillocks: an enigma of the Northern Periacaspian area", *Priroda*, vol.2, pp. 32–38.
25. Svitoch, A.A. and Klyuvitkina, T.S. (2006), *Berovskie bugry Nizhnego Povolzh'ya* [Baer hillocks of the Lower Volga region], Rosselkhozakademia Publishing House, Russia.
26. Svitoch, A.A., Makshaev, R.R., Rostovceva, Yu.V., Klyuvitkina, T.S., Berezner, O.S., Tregub, T.F. and Homchenko, D.S. (2017), *SHokoladnye gliny Severnogo Prikaspiya* [Chocolate clays of the Northern Caspian Sea Region], Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia.
27. Knebel, W. (1906), *Höhlenkunde mit Berücksichtigung der Karstphänomene*, Die Wissenschaft. Sammlung naturwissenschaftlicher und mathematischer Monographien, Vieweg und Sohn, Braunschweig, Germany.
28. Richthofen von F. (1877), *China: Ergebnisse eigener Reisen und darauf gegründeter Studien*, Verlag von Dietrich Reimer, band 1. vol. 1, Berlin, Germany.

Статья поступила в редакцию: 04.05.2023, одобрена после рецензирования: 23.05.2023, принята к опубликованию: 12.12.2023.

The article was submitted: 4 May 2023; approved after review: 23 May 2023; accepted for publication: 12 December 2023.

## Информация об авторах

**Виктор Валерьевич Занозин**

кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева; 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

e-mail: victor\_z94@mail.ru

**Александр Николаевич Бармин**

доктор географических наук, профессор, декан геолого-географического факультета, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева; 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

e-mail: abarmin60@mail.ru

**Валерий Владимирович Занозин**

кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры географии, картографии и геоинформатики, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева; 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

e-mail: vvzozin-67@mail.ru

## Information about the authors

**Viktor V. Zanozin**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology, Nature & Land Management, & Safe Vital Activities, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

**Alexander N. Barmin**

Doctor of Geographical Sciences, Full Professor, Dean of the Faculty of Geology & Geography, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

**Valery V. Zanozin**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Geography, Cartography, GIS Technologies, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

*Физическая география, ландшафтоведение и геоморфология*  
*Занозин В.В., Бармин А.Н., Занозин В.В., Валов М.В.*

**Михаил Викторович Валов**

кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности, Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева; 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а

**Mikhail V. Valov**

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Ecology, Nature & Land Management, & Safe Vital Activities, Astrakhan Tatishchev State University;

20a, Tatishcheva st., Astrakhan, 414056, Russia

e-mail: m.v.valov@mail.ru

**Вклад авторов**

Занозин Виктор Валерьевич – идея исследования, идея статьи, обработка и анализ полевых данных, написание статьи.

Бармин Александр Николаевич – написание статьи, редактирование статьи.

Занозин Валерий Владимирович – обработка и анализ полевых данных, написание статьи, редактирование статьи.

Валов Михаил Викторович – обработка и анализ полевых данных, написание статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors**

Viktor V. Zanozin – the idea of the article; processing and analysis of field data; writing the article.

Alexander N. Barmin – writing and editing of the article.

Valery V. Zanozin – processing and analysis of field data; writing and editing of the article.

Mikhail V. Valov – processing and analysis of field data; writing the article.

The authors declare no conflict of interest.