

Халыков Е.Е.¹

ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОВРАЖНОЙ ЭРОЗИИ НА ПРИМЕРЕ ОВРАГОВ ДОЛИНЫ РЕКИ МУКЫР

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрено изучение овражной эрозии и картографирование овражно-балочной сети с использованием данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологии. Современные методы картографирования при изучении овражной эрозии дают достоверные, оперативные и масштабные морфометрические характеристики и количественные сведения по темпу развития оврагов. В предгорьях гор Жетысу Алатау впервые использовались методы наземного лазерного сканирования и разновременные космические снимки для изучения развития овражной эрозии. Исследования проводились на ключевом участке оврагов долины реки Муқыр (Коксуский район, Алматинская область, Республика Казахстан), в западной части гор Жетысу Алатау. В осенние периоды с 2012 по 2017 г. в Жетысуском регионе были проведены полустационарные наблюдения и дополнительное изучение овражной эрозии в долине р. Муқыр. Большинство оврагов в этой долине растущие, имеющие прирост вершинной и глубинной частей, преимущественно за счет флювиальных процессов. Статья содержит результаты полевых и камеральных исследований. Для детального инструментального изучения оврагов на ключевом участке использован наземный лазерный 3D сканер RIEGL VZ-4000, который позволил выявить точные морфометрические характеристики и темпы линейных размывов. Изучены факторы, влияющие на развитие овражной эрозии, получено количество оврагов в долине р. Муқыр, приведена морфометрическая характеристика оврагов, полученная на основе современных приборов и космических снимков. Приведены результаты анализа полученных полевых сведений, обработки космических снимков и материалов разных лет. Составлены карта овражно-балочной сети долины р. Муқыр, схемы роста вершины и площадного развития, продольные и поперечные профили оврагов и классификация цифровой модели рельефа по высотным отметкам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: овражная эрозия, овраги, ГИС-технологии, река Муқыр, Жетысу Алатау.

Erkebulan E. Khalykov²

PECULIARITIES OF MAPPING GULLY EROSION ON THE EXAMPLES OF THE GULLIES OF THE VALLEY OF THE RIVER MUKIR

ABSTRACT

The article deals with the study of gully erosion and mapping of ravine-beam network using remote sensing data of the Earth and GIS-technology. The use of modern mapping methods in the study of gully erosion provides reliable, operational and scale morphomet-

¹ Институт географии, Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Республика Казахстан, *e-mail*: e.halykov@mail.ru

² Institute of Geography, Satbayev University, Satpayev str., 22a, 050013, Almaty city, Republic of Kazakhstan, *e-mail*: e.halykov@mail.ru

ric characteristics and quantitative information on the rate of development of gullies. For the first time in the foothills of the Zhetysu Alatau mountains methods of terrestrial laser scanning and various space images were used to study the development of gully erosion. The investigations were carried out at the key section of ravines in the valley of the river Mukyr (Koksu District, Almaty Region, Republic of Kazakhstan), in the western part of the Zhetysu Alatau Mountains. In the autumn periods from 2012 to 2017 y. in Zhetysu region, semi-stationary observations and additional study of gully erosion in the valley of the river Mukyr (Koksu district) were carried out. The majority of ravines in this valley are growing, having an increase in the vertex and deep parts, mainly due to fluvial processes. The article contains the results of field and cameral research. For detailed instrumental study of ravines, a 3D laser scanner RIEGL VZ-4000 was used in the key area, which allowed to reveal the exact morphometric characteristics and rates of linear erosion. The factors influencing the development of gully erosion were studied, the number of gullies in the valley of the Mukyr River was obtained, the morphometric characteristics of ravines obtained on the basis of modern instruments and space images are given. The results of the analysis of the received field data, processing of space images and materials of different years are given. A map of the ravine-gullet network of the valley of the river Mukyr, a scheme for the growth of the summit and area development, longitudinal and transverse profiles of ravines, and the classification of the digital elevation model by elevation are compiled.

KEYWORDS: gully erosion, gullies, GIS technology, river Mukyr, Zhetysu Alatau.

ВВЕДЕНИЕ

Оврагообразование представляет собой сложный рельефообразующий процесс, связанный с поверхностным размывом горных пород временными потоками талых и дождевых вод [Косов и др., 1989].

Овраги образуются в естественных условиях на склонах речных долин, балок, суходолов, но нередко в результате хозяйственного использования земель при деградации растительности в пригородных зонах, поселках, а также при добыче полезных ископаемых и строительстве.

Овраги являются одной из распространенных деструктивных форм рельефа в горах и предгорьях Жетысу Алатау, находящихся в юго-восточном Казахстане. Эти территории на протяжении тысячелетий служат местом хозяйственной деятельности человека, что связано с их благоприятными природными условиями [Michael et al., 2010]. Усиление антропогенной нагрузки способствует формированию овражной эрозии, особенно ее активное развитие выявлено с применением космических снимков в долине р. Мукур. Там были проведены полустационарные наблюдения за оврагами различных типов, находящимися на разных стадиях развития. Исток р. Мукур расположен в западной части Жетысу Алатау в горах Шаган (2551 м), а затем через 100 км она впадает в р. Биже, в бассейне р. Каратал. Воды р. Мукур используются для орошения полей фермерских хозяйств и садов, где выращивают плодовые, кормовые и зерновые культуры.

Актуальность исследований овражной эрозии в данном регионе определяется потребностями в планировании допустимых нагрузок на природную среду, в экологически безопасном плане. Овражная эрозия наиболее опасна в предгорных и равнинных районах, где в настоящее время площади эродированных земель увеличиваются, снижается их продуктивность. Результатом проявления овражной эрозии является не только экологический (потеря плодородия), но и экономический ущерб (снижение эффективности сельскохозяйственного производства).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы исследования – полевое инструментальное (наблюдательные ключевые участки); применение высокоточного лазерного 3D сканера RIEGL VZ-4000 для получения детальной цифровой модели местности в виде массива облаков точек (с использованием программы RiscanPro для обработки полученных данных); картографическое, ГИС, дешифрирование космических снимков среднего и высокого разрешения с использованием программы ArcGIS, сравнительный, системный анализ и описание результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По географическому положению рассматриваемая территория представляет собой западные отроги Жетысу Алатау, слаборасчлененное средне-мелкогорье (горы Жанабай, Албасу, Жуантобе) с абсолютными отметками от 900 до 1600 м над уровнем моря. Рельеф сглаженный, усложненный системой пологих долин и логов, относительные превышения не превышают 200–250 м.

Исследуемая территория по геоморфологическому районированию относится к области орогенного пояса южного и юго-восточного Казахстана, укрупненному геоморфологическому району – хребтов и предгорий Жетысу Алатау [Республика Казахстан, 2006]. По морфогенетическому типу это аккумулятивный рельеф, наложенный на денудационную поверхность. Это холмисто-увалистый рельеф с большим количеством неглубоких, преимущественно сухих оврагов и долин временных водотоков с преобладанием северного направления.

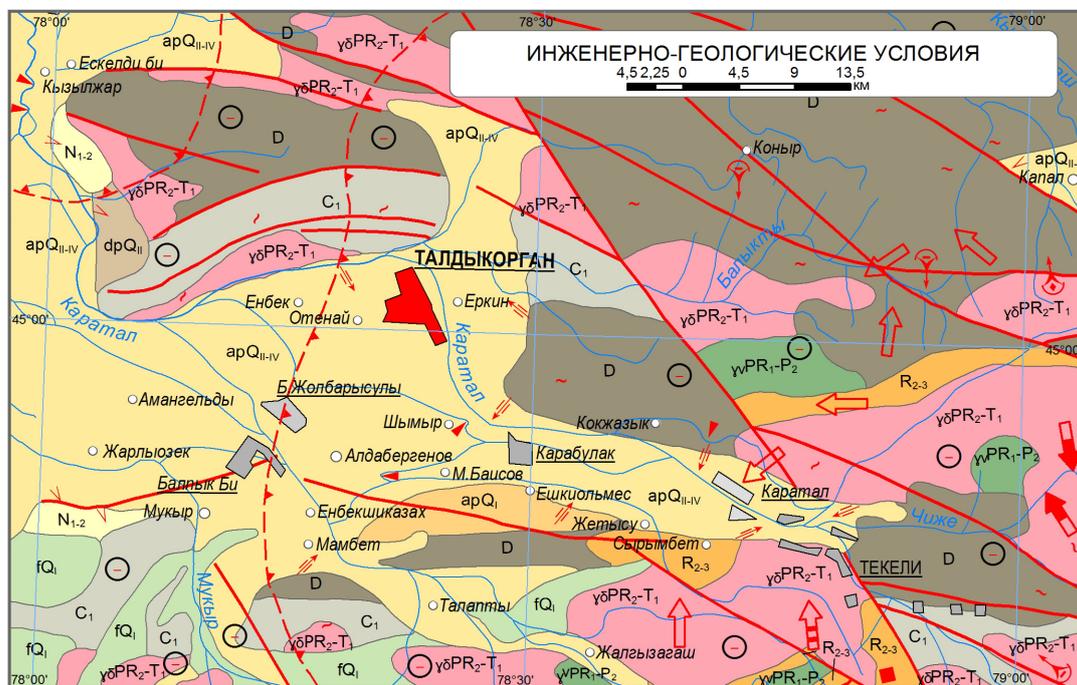
Поверхность сложена четвертичными суглинками серовато-желтого цвета, галечниками и песками. Мощность суглинков колеблется от 2,55 до 3,10 м, в среднем 2,87 м. Инженерно-геологические условия и рельефообразующие процессы показаны на рис. 1. Развитие рельефообразующих процессов протекает площадно, линейно и точечно. Процессы одновременно изменяют рельеф и участвуют в переотложении вещества, т. е. в формировании современного рельефа участка одновременно принимают участие процессы денудации и аккумуляции.

Климат района континентальный, характерны большие суточные и годовые амплитуды температуры воздуха, умеренно холодная зима и продолжительное жаркое лето. Среднегодовая температура воздуха +6...+9 °С, средняя годовая сумма осадков 380 мм. Одним из важнейших факторов оврагообразования являются гидрометеорологические условия: количество осадков, их интенсивность и распределение во времени. Для выявления взаимосвязей количества осадков и линейного роста оврагов получено суммарное количество атмосферных осадков за период исследования (рис. 2).

Наши исследования овражной эрозии в долине р. Муқыр направлены на выявление площадного распространения оврагов, скорости их роста, а также других причин ее развития.

Для получения количественных данных развития овражной эрозии в долине р. Муқыр использовались полевые исследования, целью которых были оценка динамики роста овражной эрозии и создание ключевых наблюдательных участков с постановкой реперов наблюдения. Места ключевых наблюдательных участков выбирали с применением космических снимков. Для каждого из участков определен целевой комплекс наблюдений, а также проведено описание естественных условий на данных участках. По космическим снимкам и полевым материалам на территории исследования были выделены овраги, находящиеся на разных стадиях развития (табл. 1). Исследования показали, что по правому борту долины р. Муқыр развито 34, а по левому борту – 10 овражно-балочных сетей, которые в плане имеют ветвящийся вид. Их поперечные профили клиновидные и трапециевидные, а продольный профиль полого-вогнутый (рис. 3). Измерения прироста вершин оврагов проводились один раз в год осенью (после схода весенних талых вод и после лет-

них ливней). Характеристики роста и количества оврагов, полученные во время полевых работ, учтены при дешифрировании космических снимков и сверены с данными на топографических картах.



РЕЛЬЕФОБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ

Преобладающий класс процесса	Условный знак	Ведущий тип процесса	Условный знак	Ведущий тип процесса
Денудационный		Физическое выветривание		Гравитационный:
	 	Эрозионный: а) плоскостной смыв б) боковая эрозия в) овражная эрозия		а) осыпной в скальных породах б) обвалный в скальных породах в) лавины (обвалы снежных масс): сход лавин ежегодно с различной средней массой сносимого снега (M), тыс. т.
	 	Эрозионные селевые: а) сели дождевого питания средней интенсивности (селевые бассейны III категории) б) селевые паводки, водные потоки с повышенным твердым стоком и эпизодическое проявление тальвежно-русловых выносов боковых логов относительно слабой интенсивности (селевые бассейны IV категории)	 	1) незначительной опасности, M<1 2) значительной опасности, M=100-10 3) исключительной опасности, M>100

Г Р А Н И Ц Ы :

— геолого-геоморфологические ▼ зон интенсивности землетрясений в баллах шкалы MSK-64 — РАЗЛОМЫ: достоверные, (в том числе под рыхлым чехлом)

Генезис отложений	Индекс	Возраст отложений	Литологический состав	Преобладающие экзогенные процессы
Аллювиально-пролювиальный	арQII-IV	среднечетвертичный-современный	алевриты, пески, суглинки, супеси, щебень	овражная эрозия, боковая эрозия, плоскостной смыв
	арQI	нижнечетвертичный	песчано-гравийно-галечники с линзами и прослоями суглинков и супесей	овражная эрозия, плоскостной смыв
Делювиально-пролювиальный	дрQII	среднечетвертичный	лессовидные суглинки, глины, пески, конгломераты, галечники, щебень, дресва	овражная эрозия
Флювиальные	фQI	нижнечетвертичный	валуно-галечники, дресва, щебень, пески, супеси, лессовидные суглинки	овражная эрозия
Континентальный	N1-2	миоценовый-нижнеплиоценовый	глины с прослоями песков, глин, песчаников, конгломератов, галечников; валуны, гравелиты и гравийные пески	овражная эрозия, плоскостной смыв
Континентальный	C1	нижнекаменно-угольный	конгломераты, песчаники, алевриты, кремнистые и углистые туффиты, кремнистые алевриты, вулканиты от липаритов до дацитов, известняки	физическое выветривание, осыпи
Континентальный	D	девонский	лавы, туфы, алевриты	физическое выветривание, осыпи
Высокой степени метаморфизма	PR2,3	средневерхний рифей	сланцы, известняки, доломиты	обвалы, физическое выветривание
Интрузивный	γδPR2-T1	среднепротерозойский-нижнетриасовый	диорит-гранодиорит	осыпи, физическое выветривание, лавины
Интрузивный	γδPR1-P2	нижнепротерозойский-верхнепермский	диорит-габбро-ультрамафит	осыпи, физическое выветривание, лавины, сели

Рис. 1. Инженерно-геологические условия исследуемой территории
Fig. 1. Engineering-geological conditions of the research territory

Таблица 1. Морфометрические характеристики оврагов в долине р. Мукур, м
Table 1. Morphometric characteristics of gully in the valley of the river Mukyr, m

Количество и морфометрические характеристики оврагов по левому борту р. Мукур							
№ п/п	Длина	Вершинная часть оврага		Середина оврага		Нижняя часть оврага	
		Глубина	Ширина	Глубина	Ширина	Глубина	Ширина
1	1680	4,5	9,1	4	8,5	3,3	7
2	320	3,5	6	5	11,15	1	3
3	222	3,2	6	3,5	5,5	2,2	4,5
4	890	5,8	9	4	7,3	2,6	4,5
5	423	4,5	9,8	3	5,85	1,7	3,4
6	587	5,6	10,2	6,3	12,6	2	4,1
7	371	7,5	14	7,3	13,4	2,5	4,9
8	4118	2,2	6,1	4	7,8	5	29,3
9	154	5,27	10,4	8,4	16,6	4,5	16,6
10	73	4,3	7,2	6	11,5	3,2	5,2
11	3640	7,7	17,7	5,2	10,6	3,6	6,1
12	5863	4,5	7,7	10,9	21,4	4,3	12,3
13	464	4,9	8,5	4,4	7,6	3,2	9
14	292	3,6	8,7	4,6	11,3	2	4,8
15	554	4	8,8	2,7	4,5	3	10,7
16	307	1,7	3,6	2	5,4	3,6	8,4
17	431	1,8	3,8	4,3	8,7	2,9	7,9
18	58	2,3	4	3	8,1	2,8	7,8
19	193	4,5	8,8	2,9	5,7	2,9	7,3
20	3677	3,3	6,2	5,3	11	4,7	10
21	475	2,8	5,9	2,2	6,7	2,8	7
22	191	2,5	4,4	1,5	3,5	0,5	2
23	1885	6,1	15,8	13,3	30,1	2,2	6,4
24	3449	5,4	16	4,7	8,6	4,2	7,2
25	579	4,8	13,4	6,7	13,4	2	4,3
26	491	3,8	6	3,2	6,5	1,9	3,9
27	288	3,6	5,85	1,6	4,1	1,4	4,2
28	199	2,3	4,2	3,2	5,4	1,5	3,3
29	1539	4,4	8,6	6,8	12,4	2,4	4,8
30	1592	8,3	15,9	9	20,2	4,6	13,5
31	1194	9,5	18,2	9,8	18,7	7,5	16,8
32	1372	7,2	19,4	6,2	17,2	5,5	9,5
33	8175	5,5	9,5	7,4	13,75	3,9	13,25
34	129	2,2	5,4	3,8	6,9	1,8	3,2
Количество и морфометрические характеристики оврагов по правому борту р. Мукур							
	Длина	Вершинная часть оврага		Середина оврага		Нижняя часть оврага	
		Глубина	Ширина	Глубина	Ширина	Глубина	Ширина
1	185	2,2	5	2,3	4,6	1,8	3
2	560	4,4	7,3	5,7	10,1	3,3	7,2
3	1315	6,7	13,8	6,7	14,7	2,4	5,6
4	721	2,8	6,2	2,6	4,6	2,3	4,6
5	1704	3,8	6,8	3,7	9,2	3,3	8,7
6	462	5	12,7	6,3	13,1	3,9	8,3
7	640	6,8	11,4	5,2	9,9	4,3	8,1
8	472	2,1	3,87	2,5	5,5	2,4	4,5
9	199	2,8	4,95	4,1	8,7	3,7	6,73
10	841	7,9	15,7	4,7	10,3	4	6,3



Рис. 2. Суммарное количество атмосферных осадков
Fig. 2. Total amount of precipitation



Рис. 3. Овраги в долине р. Мукур
Fig. 3. Gullies in the valley of the river Mukyr

Во время полевых работ с 2012 по 2017 г. один раз в год проводилась фиксация линейного и площадного прироста оврагов, их углубления, изменения сопутствующих процессов, протекающих на склонах и днищах. Дальнейшая обработка в камеральных условиях линейного и площадного прироста оврагов проводилась с применением метода реперов (табл. 2). Рост вершины наблюдаемых оврагов в долине р. Мукур составляет 0,3–4,7 м/год, среднегодовой рост составляет 2,56 м/год (использовались наблюдения за шестью вершинами оврагов в течение

5 лет). На построенной диаграмме (рис. 4) отражен рост вершинной части оврагов за 5 лет наблюдений. Преобладающий прирост оврага приходится на весенний период. К основным факторам, определяющим рост оврагов, относятся интенсивность весеннего стока и ливни, механический состав горных пород и крутизна склонов. Полученные данные позволяют утверждать, что овражная эрозия является наиболее активным фактором преобразования рельефа в долине р. Мукры. Наиболее тревожными являются овраги, вершины которых врезаются в поля и пастбища. Из полей по тальвегам данных оврагов на низкие гипсометрические уровни (поймы и террасы рек) и водоемы выносятся компоненты минеральных удобрений и пестицидов, тем самым загрязняется водная среда.

Таблица 2. Прирост вершин оврагов (м) и смытый объем по годам (м³)
Table 2. The gain of the peaks of the gullies (m) and the washed-out volume by years (m³)

Пункт исследования	№ п/п	№ по GPS	Вершины	2013	2014	2015	2016	2017
с. Мукры, 3 км юго-западнее, 235 км автодороги Мукры – Алматы (Коксуский р-н)	1	686–690	А	<u>1,1</u> 20	<u>1,55</u> 25	<u>0,8</u> 18	<u>1,3</u> 22	<u>0,32</u> 7
			С	<u>1</u> 11	<u>1,2</u> 16	<u>0,5</u> 4,3	<u>1,45</u> 16	<u>4,75</u> 14
	2	691–692		<u>2,3</u> 8	<u>3,5</u> 18	<u>1,2</u> 1,45	<u>0,45</u> 0,25	–
	3	409–410					<u>1,1</u> 20	<u>0,74</u> 20
	4	766–769				0,3	–	–



Рис. 4. Диаграмма роста вершин оврагов в долине р. Мукры
Fig. 4. The diagram of the growth of the peaks of gullies in the valley of the river Mukry

Современные ГИС-технологии позволяют получать морфометрические показатели рельефной среды, наблюдать динамику изменения во времени, обеспечивая более объективную и комплексную оценку развития овражной эрозии. Изучение овражной эрозии в пределах исследуемого региона с появлением новых технических возможностей (ГИС-технологии, трехмерное лазерное сканирование) дает существенные возможности для более масштабного охвата территории, детального получения параметров отдельных оврагов, данных для всестороннего анализа динамики и закономерностей развития овражной эрозии. Технологический процесс обработки космических снимков состоял из последовательного выполнения следующих основных этапов: выбора и получения космических снимков; их привязки (трансформирования), разработки принципов; дешифрирования и оцифровки

объектов рельефа; разработки структуры цифровой карты; оформления картографического материала. Проведение мониторинга изменений на поверхности рельефа с использованием космической информации позволяет получить независимую информацию о масштабах развития овражной эрозии и дальнейшей ее «наземной» проверке. При определении и нанесении овражно-балочных систем на карты дешифровочными признаками служат бровки склонов, тальвеги оврагов, ровный тон окраски склонов и дна. По материалам исследования создана карта овражно-балочной сети в долине р. Мукур (рис. 5).

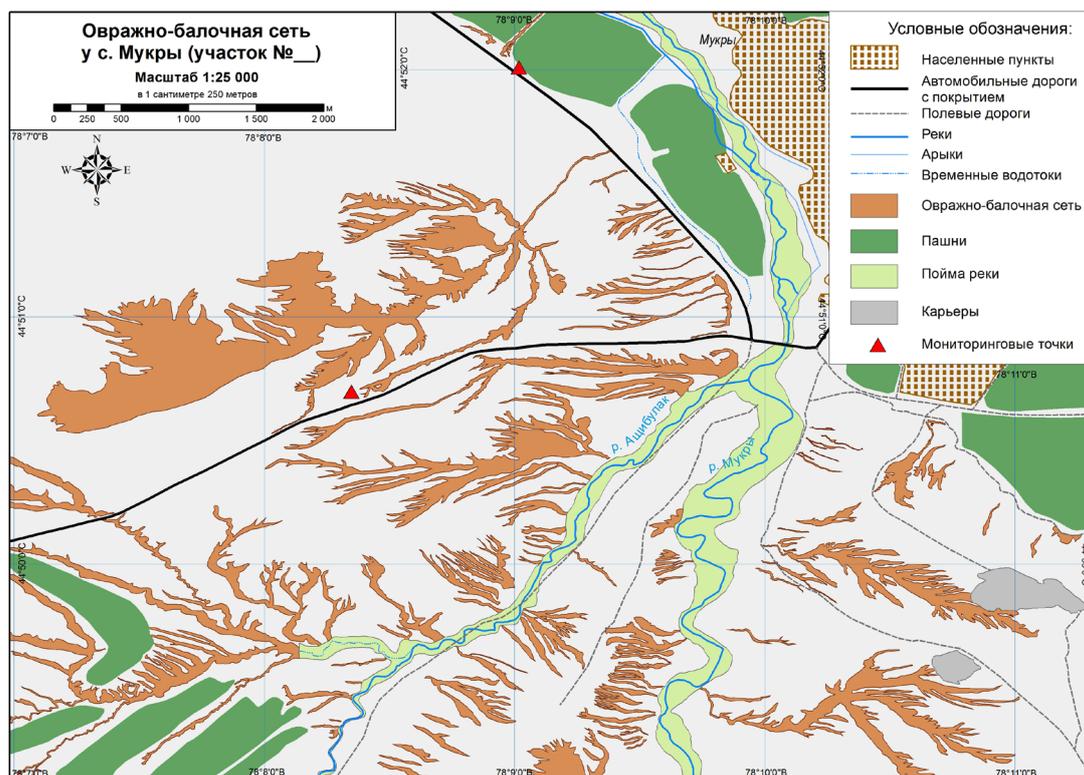


Рис. 5. Овражно-балочная сеть в долине р. Мукур
Fig. 5. Gully-beam network in the valley of the river Mukyr

Для наблюдения динамики овражной эрозии с помощью разновременных космических снимков в долине р. Мукур нами были выбраны две вершины единой овражно-балочной сети (3 км юго-западнее с. Мукур, на западной стороне 235 километра автодороги Алматы – Усть-Каменогорск). Общая длина единой овражно-балочной сети 6,3 км, крутизна склонов варьируется от 1 до 9,9°, а перепад высот составляет 296 м.

Прирост вершинной части оврага № 1 составил 11,82 м, площадное развитие – 0,46 га за 13 лет (рис. 6). Прирост вершинной части оврага № 2 за 13 лет – 126,3 м, площадное развитие – 1,2 га (рис. 7). Продольный профиль оврага № 2 имеет пологовогнутую форму (рис. 8). Экспозиция склонов и литологический состав обоих оврагов одинаков. Разница роста двух вершин одной овражной сети в длину – более 10, а по площади развития – 3 раза. Эта объясняется тем, что крутизна общего склона изменяется от 3,2° (овраг № 1) до 5,1° (овраг № 2).

По полученным результатам можно сделать следующий вывод: даже при небольшом увеличении крутизны склонов существенно растет активность овражной эрозии. Данные подтверждают, что условия рельефа и литологическое строение являются ведущими факторами оврагообразования в исследуемом районе.

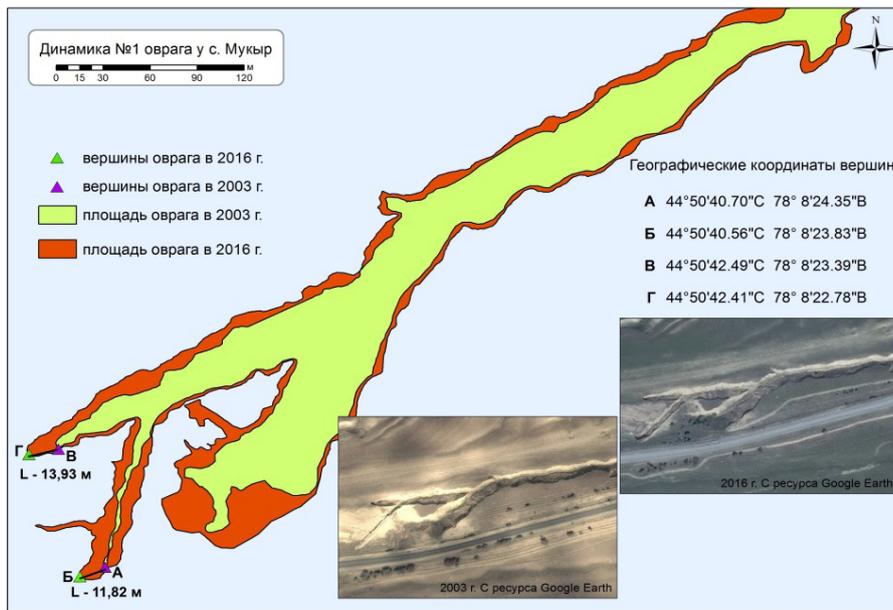


Рис. 6. Рост вершины и площадное развитие оврага № 1 в долине р. Мукыр
Fig. 6. The growth of the summit and the area development of the gully No1 to the valley of the river Mukyr

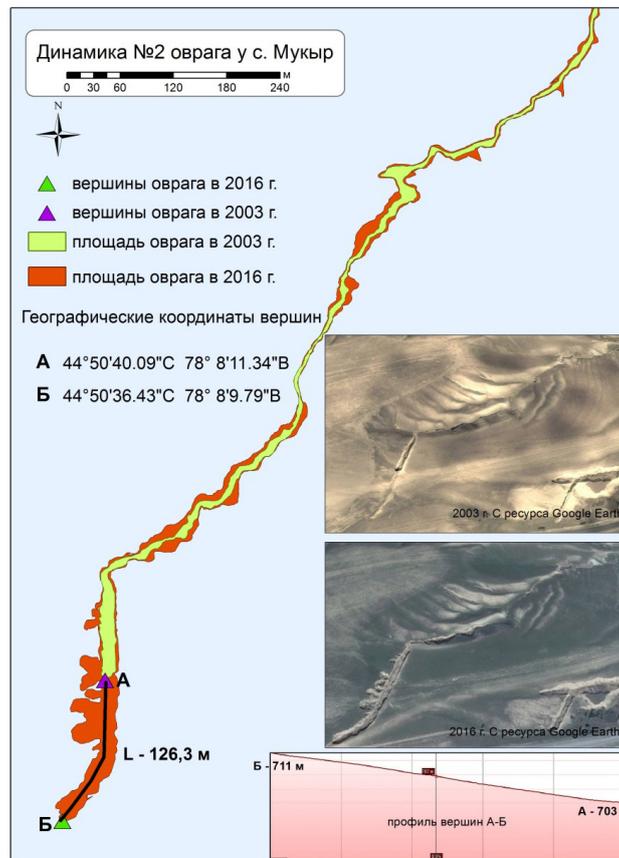


Рис. 7. Рост вершины и площадное развитие оврага № 2 в долине р. Мукыр
Fig. 7. The growth of the summit and the area development of the gully No 2 to the valley of the river Mukyr

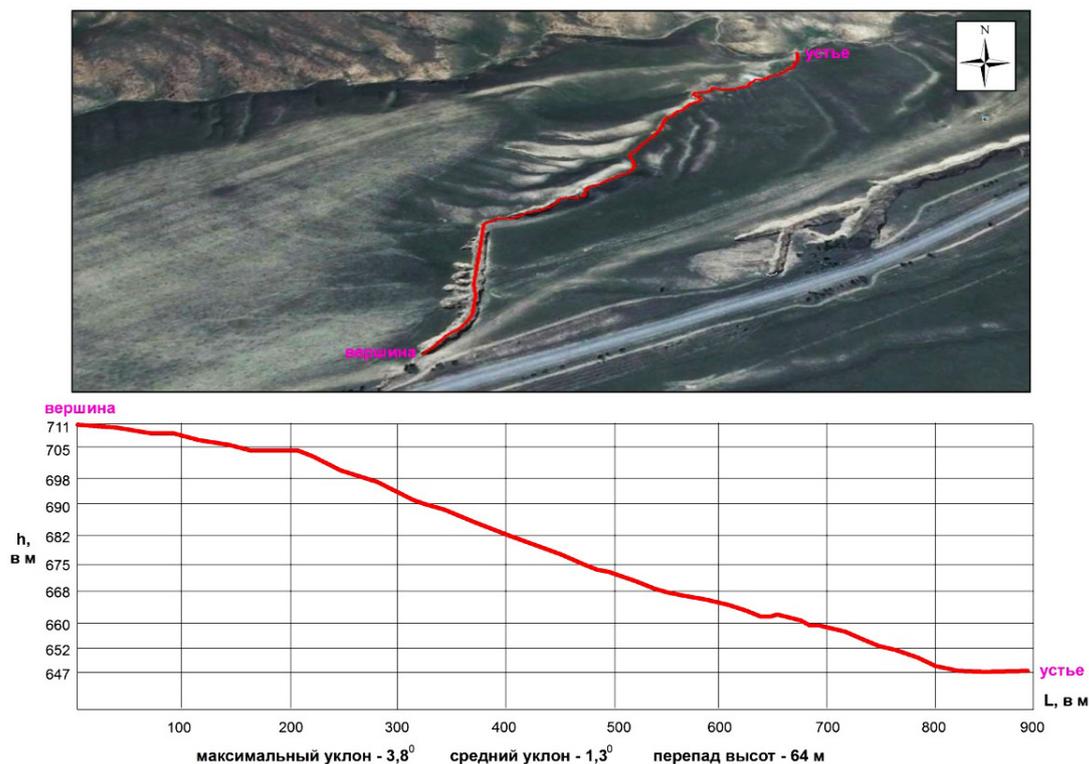


Рис. 8. Продольный профиль оврага № 2 в долине р. Мукур
Fig. 8. The longitudinal profile of the gully No 2 to the valley of the river Mukyr

К одному из методов для регистрации и оценки развития рельефообразующих процессов, который дает количественную информацию, относится метод наземного лазерного сканирования. Он позволяет оперативно получать трехмерные данные, с высокой точностью показывающие изменения в рельефе местности, характеризую процесс денудации и аккумуляции.

Особенно эффективно использование наземного лазерного сканирования при мониторинге речевой и плоскостной эрозии, на которые приходится более 2/3 площади склона, в том числе площади распаханых земель [Ермолаев, 2002; Гафуров, 2016; Гафуров и др., 2017].

Работы по оценке динамики овражной эрозии с помощью сканирующего прибора состояли из полевого и камерального этапов. Полевые работы проводились в 2017 г. Использовался наземный трехмерный лазерный сканер RIEGL VZ-4000. Для наблюдения за овражной эрозией были выбраны два оврага в долине р. Мукур, о которых сказано выше. Проведено первое сканирование оврагов для количественной и качественной оценки овражной эрозии. В дальнейшем при повторных съемках данных оврагов и камеральной обработке результатов сканирования ожидаются детальные показатели изменений овражной эрозии. На первоначальном этапе при обработке результатов сканирования в виде облака точек в программе RiSCANPRO получены поперечные и продольные профили оврагов (рис. 9), а также классификация цифровой модели рельефа по высотным отметкам через 5 м (рис. 10).

Отметим, что метод наземного лазерного сканирования открывает широкие возможности получения количественных данных и определения закономерностей развития овражной сети. Имея высокую точность, данный метод позволит регистрировать и другие геоморфологические процессы.

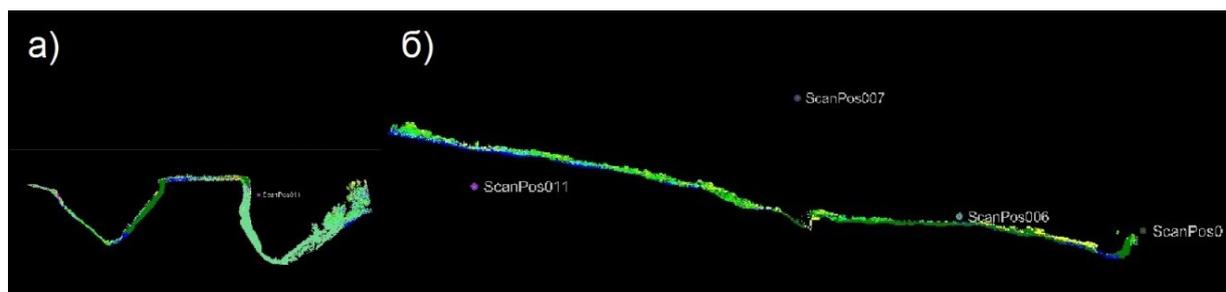


Рис. 9. Профили оврага: а – поперечный; б – продольный
Fig. 9. The gully profiles: a – transverse; b – longitudinal

Классификация ЦМР оврага Мукур-1 по высотным отметкам

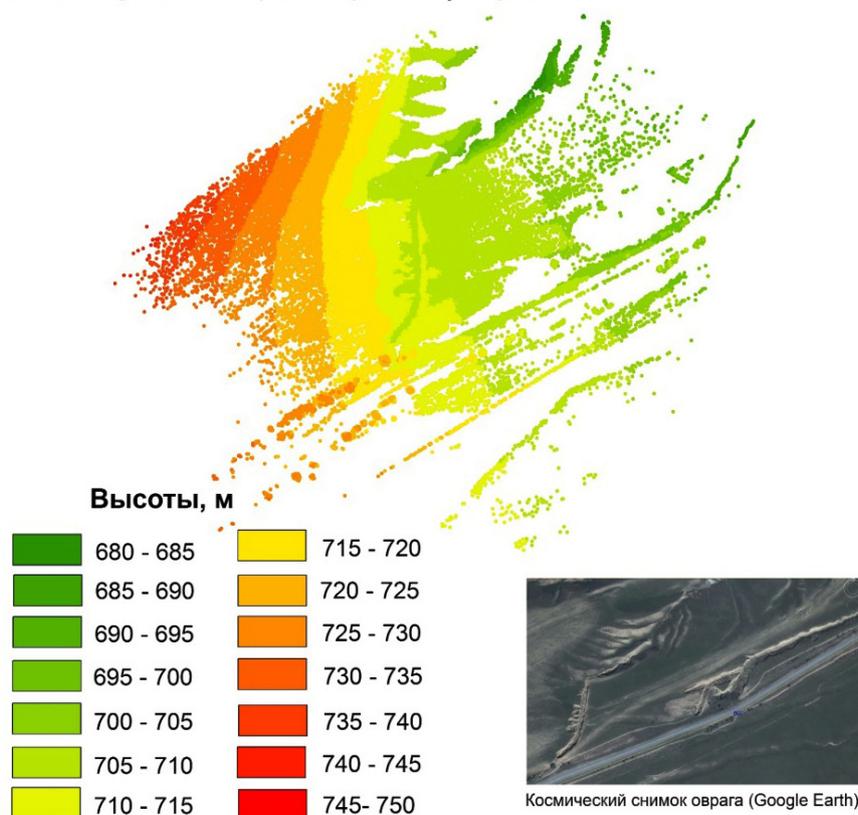


Рис. 10. Классификация цифровой модели рельефа по высотным отметкам через 5 м
Fig. 10. Classification of the digital relief model by elevation 5 m

ВЫВОДЫ

Результатами выполненных работ являются количественные морфометрические данные роста оврагов и полная карта овражно-балочной сети долины р. Мукур. Полученные впервые трехмерные данные оврагов в виде облака точек служат началом последующих наблюдений. На ключевом участке выявлена динамика роста каждого из исследуемых оврагов в связи с комплексом природных условий и их изменением. В долине р. Мукур определяющими факторами роста оврагов являются механический состав субстрата, атмосферные осадки (весенний сток, летние ливни), крутизна и длина склонов. Полученные материалы позволяют утверждать, что овражная эрозия является наиболее активным фактором преобразования рельефа долины р. Мукур.

Интенсивное развитие овражной эрозии увеличивает экологическую напряженность природно-антропогенной среды в регионе. Разрастание овражной сети, ее активное развитие ухудшает качество сельскохозяйственных земель и создает угрозу объектам дорожной и селитебной инфраструктуры. В последнее время борьба с овражной эрозией практически не организована, хотя понятно, что экологические и экономические последствия этого негативного процесса могут быть значительными не только в долине р. Мукур, но и для всего региона с продуктивными сельхозугодьями.

Полученные результаты актуальны при планировании и проведении инфраструктурных и сельскохозяйственных работ и требуют мероприятий по защите земель в зависимости от распространения и потенциальной опасности овражной эрозии.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при поддержке проекта: Географические основы обеспечения безопасности природопользования горных и равнинных территорий Казахстана, проект № 0112PK00625.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the project: Geographical bases for ensuring the safety of nature management of mountainous and lowland areas of Kazakhstan, project No 0112PK00625.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гафуров А.М. Оценка интенсивности и динамики почвенной эрозии методом наземного лазерного сканирования // Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов): Сб. ст. по материалам XI семинара молодых ученых вузов, объединяемых Межвузовским научно-координационным советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Новгород: Мининский университет, 2016. С. 81–90.
2. Гафуров А.М., Веденева Е.А., Ермолаев О.П., Усманов Б.М. Использование метода наземного лазерного сканирования для оценки интенсивности современных экзогенных процессов // Трешниковские чтения: Материалы VII всерос. науч.-практ. конф. Ульяновск, 2017. С. 14–17.
3. Ермолаев О.П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Казань: Унипресс КГУ, 2002. 265 с.
4. Косов Б.Ф., Зорина Е.Ф., Любимов Б.П. и др. Овражная эрозия / Под ред. Р.С. Чалова. М.: МГУ, 1989. 166 с.
5. Республика Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы / Ред. Н.А. Искаков, А.Р. Медеу. Алматы, 2006. 202 с.
6. Michael D. Frachetti, Norbert Benecke, Alexei N. Mar'yashev, Paula N. Doumani. Eurasian pastoralists and their shifting regional interactions at the steppe margin: settlement history at Mukri, Kazakhstan // *Debates in World Archaeology. World Archaeology*. 2010. V. 42, Issue 4.

REFERENCES

1. Ermolaev O.P. Erosion in basin geosystems. Kazan: Unipress of KSU, 2002. 265 p. (in Russian).
2. Gafurov A.M. Estimation of the intensity and dynamics of soil erosion by the method of ground-based laser scanning, Erosion, watercourse and estuarine processes (research of young scientists of universities): a collection of articles on the materials of the XI seminar of young scientists of universities, united by the Interuniversity Scientific Coordination Council on the problem of erosion, watercourse and estuarine processes. Novgorod: Minin University, 2016. P. 81–90 (in Russian).

3. *Gafurov A.M., Vedeneeva E.A., Ermolaev O.P., Usmanov B.M.* Using the method of ground-based laser scanning to estimate the intensity of modern exogenous processes. Treshnikov readings, materials of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. Ulyanovsk, 2017. P. 14–17 (in Russian).
4. *Kosov B.F., Zorina E.F., Lyubimov B.P. et al.* Gully erosion / Ed. R.S. Chalov. Moscow: MGU, 1989. 166 p. (in Russian).
5. *Michael D. Frachetti, Norbert Benecke, Alexei N. Mar'yashev, Paula N. Doumani.* Eurasian pastoralists and their shifting regional interactions at the steppe margin: settlement history at Mukri, Kazakhstan. *Debates in World Archaeology. World Archaeology.* 2010. V. 42, issue 4.
6. Republic of Kazakhstan. V. 1. Natural settings and natural resources / N.A. Iskakov, A.R. Medeu (eds.). Almaty, 2006. 202 p. (in Russian).