

## **ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОЛЕДНИКОВЫХ БАССЕЙНАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛТАЯ**

*Александр Сергеевич Кузнецов*

ФГБУН «Институт мониторинга климатических и экологических систем» СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, кандидат географических наук, младший научный сотрудник, тел. (3822)49-22-23, e-mail: kuzgeo@gmail.com

На основе энергетического анализа проведена оценка энергетического потенциала горноледникового бассейна. С использованием полевых наблюдений, ДДЗ и ГИС-программного обеспечения, составлена карта энергетического потенциала рельефа, а также пример его реализации в ходе геоморфологического процесса.

**Ключевые слова:** энергия рельефа, энергетический потенциал, энергетическая устойчивость.

## **POWER SUPPLY OF SLOPE PROCESSES IN MOUNTAIN-GLACIAL POOLS OF CENTRAL ALTAY**

*Alexander S. Kuznetsov*

FSBAS Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Science SB RAS, 634055, Russia, Tomsk, 10/3 Academichesky avenue, Ph. D., senior research officer, tel. (3822)49-22-23, e-mail: kuzgeo@gmail.com

On the basis of energy analysis the energy potential of mountain-glacial pool have been assessed. With the help of field observations, remote sensing data and GIS software, a map of the energy potential of relief, as well as an example of its implementation in the geomorphological processes.

**Key words:** energy of topography, energy potential, energy stability.

В настоящее время наиболее важное в практическом отношении значение приобретают знания о динамике геоэкологической емкости среды и ее изменении под влиянием техногенной деятельности. Традиционные методы в изучении геоэкологической емкости предполагают описание каждой из составляющих ее систем и элементов в отдельности, в соответствии с методологическими требованиями различных научных методик: для биоты и косных систем они существенно различаются и не могут характеризоваться в одних и тех же единицах измерения. Вызывают затруднения и сравнение динамики геоморфологических процессов, обусловливаемых эндогенным и экзогенным действием сил. Это противоречие можно преодолеть, если динамику составляющих геоэкологическую емкость систем характеризовать в энергетических единицах измерения в Джоулях (Дж) [1]. Автор не ставил своей целью дать исчерпывающую характеристику данной проблемы, в силу того, что ее научная разработка находится лишь в самом начале. Цель рассмотрения некоторых составляющих экзогенных процессов пространственного перераспределения вещества и рельефообразования состояла в том, чтобы на этом примере выявить принципиальную возможность применения новой методики и дать предварительную оценку ее практической значимости.

В качестве объекта исследования был выбран горноледниковый бассейн Актру (юго-восток Центрального Алтая). Рельеф территории, частью которого является горноледниковый бассейн Актру (далее Актру), был создан дифференцированными сводово-глыбовыми тектоническими деформациями земной коры. Вся совокупность процессов пространственного перераспределения продуктов выветривания в этом районе осуществляется за счет расходов потенциальной гравитационной энергии, накопленной эндогенными процессами [2].

Потенциальная энергия, применительно к процессам рельефообразования – это энергия, создаваемая гравитационными силами поднятого над поверхностью сравнения геологического тела. Работа гравитационных сил, т.е. затраты энергии на перемещение вещества, зависит только от начального и конечного положения тела (оно не зависит от формы поверхности). В данном случае поверхностью сравнения обоснованно считается базисная поверхность, в заданном пространстве (границах) образуемая множеством точек по абсолютной высоте, равной высоте тальвегов речных долин. Ее можно получить геометрическим вычитанием положительных форм рельефа – водоразделов всех порядков [1].

Другой поверхностью сравнения является вершинная поверхность в тех же границах, образуемая множеством точек, по абсолютным высотам соответствующая высотам водоразделов; она может быть получена также вычитанием отрицательных форм рельефа – речных долин. Таким образом, можно определить объем ( $V$ ) геологического тела, его массу ( $m$ ) и высоту ( $h$ ) центра тяжести поднятого тектоническими процессами блока земной коры по формуле:

$$E = \rho V g h / 2, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность (в среднем для Актру  $2700 \text{ кг/м}^3$ , для осыпей и моренных участков средняя плотность составляет  $1800 \text{ кг/м}^3$ ) и ( $V$ ) объём горных пород, среднее превышение над базисной поверхностью  $h$ ,  $g$  – ускорение силы тяжести.

Абсолютная высота базисной поверхности в границах рассматриваемой территории составляет  $2000 \text{ м}$ , вершинная поверхность, в пределах которой сохранились фрагменты меловой поверхности выравнивания, составляет в среднем  $3500 \text{ м}$ . В таком случае потенциальная энергия  $E$ , созданная эндогенными силами, составляет  $12,50 \cdot 10^{11} \text{ МДж}$ . Это энергетический потенциал слаборасчленённого блока земной коры, выведенного в сферу эрозионного преобразования. Таким образом, энергетический потенциал территории является энергией, запасённой в формах рельефа, которая используется в дальнейшем для развития и обеспечения динамики процессов (в данном случае экзогенного рельефообразования).

Для наглядного представления распределения энергетического потенциала в пределах границ Актру были выделены участки, где господствующим является определённый геоморфологический процесс. Для каждого из участков определены относительная высота ( $h$ ) над базисной поверхностью, площадь ( $S$ ). При вычислении массы горных пород была взята средняя плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$ . На основании полученных данных была составлена карта распределения удельного энергетического потенциала ( $E_{уд} = E/S$ ) в пределах Актру (рис.).

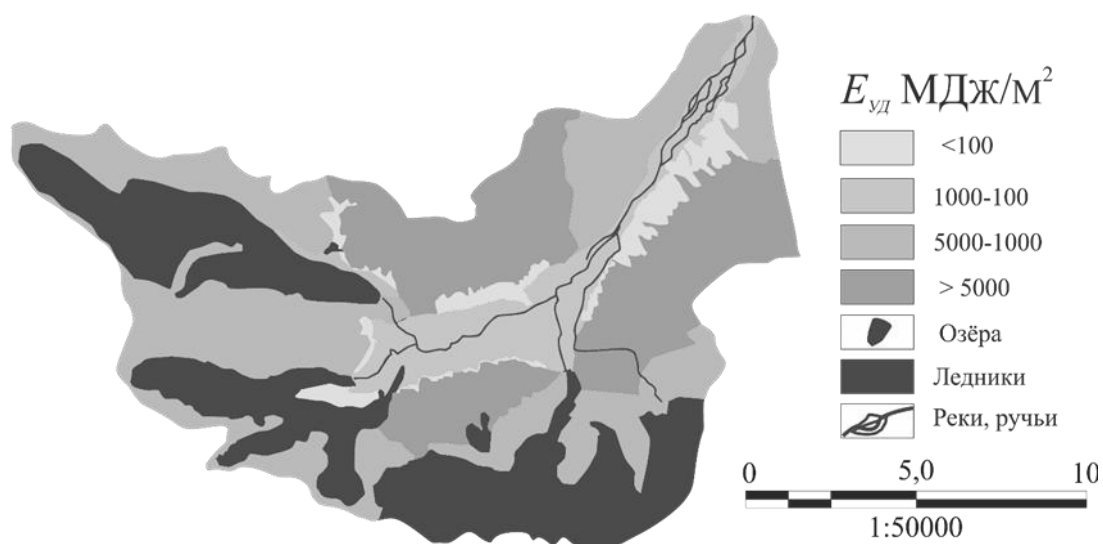


Рис. Карта-схема плотности энергетического потенциала ( $E_{уд}$ ) горноледникового бассейна Актру (пояснения в тексте) [1]

Карта-схема составлена на топографической основе масштаба 1:25000, морфометрические характеристики форм рельефа были получены в ходе экспедиционных исследований, обработка статистической информации, ДДЗ и составление тематических баз данных, осуществлялась с использованием ГИС-программного обеспечения “ArcGIS 10.2”. Карта составлена по способу картограммы в следующей градации:  $E_{уд} > 5000$  МДж – высокое значение (участки с интенсивным развитием экзогенных процессов. Расход энергетического потенциала выражается в частых камнепадах, обвалов горных пород и снежноледовых масс); 5000–1000 – умеренное (участки с достаточно интенсивным протеканием экзогенных процессов, с периодическими обвалами горных пород и снежных масс, а также интенсивным развитием солифлюкции); 1000–100 – низкое (участки с интенсивным развитием солифлюкции, селевых и оползневых процессов, приурочены в основном к местам распространения аккумулятивных тел);  $< 100$  – очень низкое (районы с менее интенсивным развитием экзогенных процессов, это, в основном, морены, выровненные водораздельные поверхности, долинный зандр) [2].

Согласно [1, 2], расход потенциальной энергии на перемещение продуктов денудации при формировании рельефа Актру составляет  $7,27 \cdot 10^5$  МДж. Т.е. энергия, затраченная на перенос объема вещества (около  $19 \text{ км}^3$ ), за счёт чего и образованы все отрицательные формы рельефа.

Нами были проведены оценки расхода энергетического потенциала при движении материала аккумулятивных склонов в Актру.

Потенциальная энергия, накопленная конусом аккумулятивными склонами, расходуется в процессе движения деятельного слоя осей. Трансформацию потенциальной энергии в кинетическую можно выразить через коэффициент реализации энергетического потенциала ( $K_p$ ) [3]

$$K_p = V/l, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость перемещения материала;  $l$  – длина склона. Поскольку расход энергии во время действия процесса не может быть больше энергетического потенциала, то величина коэффициента реализации всегда меньше единицы.

Показателем энергетической эффективности процессов может служить максимально полезная работа ( $A$ ), произведённая в процессе движения материала, слагающего осыпной аккумулятивный склон, и удельная работа ( $A_{уд}$ ), приходящаяся на  $1\text{ м}^2$  поверхности. Данный показатель складывается из произведения величины накопленной потенциальной энергии ( $E$ ,  $E_{уд}$ ) и коэффициента ее реализации ( $K_p$ ). [3]:

$$A = EK_p. \quad (3)$$

$$A_{уд} = E_{уд}K_p. \quad (4)$$

Максимально полезная удельная работа ( $A_{уд}$ ) является показателем, которым можно оценить энергетику любого процесса, протекающего в рассматриваемой геоморфосистеме. Величина этого показателя будет возрастать в зависимости от интенсивности протекающего процесса.

На основе данных, полученных в результате экспедиционных исследований динамики осыпных аккумулятивных склонов в горно-ледниковом бассейне Актру, по формулам 1–4 были определены энергетические характеристики осыпей, которые представлены в табл.

*Таблица*

Энергетические характеристики динамики осыпных аккумулятивных склонов горноледникового бассейна Актру [3]

№ осыпного склона	$E$ , кДж	$E_{уд}$ , кДж/м <sup>2</sup>	$K_p$	$A$ , кДж	$A_{уд}$ , кДж/м <sup>2</sup>
1	$15,60 \cdot 10^6$	954,14	0,005	$78,0 \cdot 10^3$	4,771
2	$22,60 \cdot 10^6$	1287,20	0,011	$248,60 \cdot 10^3$	14,160
3	$19,540 \cdot 10^6$	1058,0	0,016	$312,640 \cdot 10^3$	16,930

В ходе оценки также рассматривался ряд факторов, которые влияют на приход энергии извне в систему. Эти факторы представлены:

- 1) характером растительного покрова деятельного слоя;
- 2) глубиной прохождения изотермы июля  $0^\circ$  и трением на этой границе;
- 3) величиной угла внутреннего трения и сцепления грунта;
- 4) воздействием внешних факторов по отношению к геосистеме экзогенных агентов, влияющих на баланс вещества на его границах [3].

Полученные данные свидетельствуют о том, что наибольший запас  $E$  и  $E_{уд}$  соответствует осыпям № 2, которые находятся на склоне северо-западной экспозиции, так как на них приходится более значительная доля теплового потока в течение дня, чем на склоны, которые в светлое время суток большую часть времени находятся в тени.

Основным параметром реализации  $E_{уд}$  служит движение материала осыпи. У группы осыпей № 1, располагающихся на склоне северной экспозиции, отмечается весьма незначительное движение обломков горных пород – до несколь-

ких десятков сантиметров в год. На противоположном склоне № 2 скорость движения обломков составляет до нескольких метров в год. Причем максимальные скорости движения отмечаются на тех осыпях, которые сложены в основном мелкообломочным материалом, а иногда случаются достаточно сильные подвижки материала, которые принимают характер селевых потоков. Максимальные значения  $K_p$ , характерные для осыпей №3 склон западной экспозиции, у которых отмечаются более высокие скорости движения материала (2,5 м/год), слагающего осыпной аккумулятивный склон. Поэтому,  $A_{уд}$  отличается более высокими значениями, т.к. затраты энергии на преодоление внутренних сил (трение и сцепление) меньше, чем у осыпей противоположных склонов (№ 1 и № 2). У осыпного склона №1 скорость движения и мощность слоя осыпного материала невелики, вследствие чего и значение  $A_{уд}$  самое минимальное.

Сравнивая значения  $A_{уд}$ , мы можем охарактеризовать степень реализации энергии накопленной системой: чем больше значение этого показателя при максимальном значении накопленной потенциальной энергии, тем, с позиции энергетического подхода, эффективнее протекает данный процесс

Данный показатель также характеризует энергетическую устойчивость рельефа. Под энергетической устойчивостью мы понимаем степень реализации геосистемой накопленного энергетического потенциала. Иными словами, чем выше значение  $A_{уд}$  при данном значении  $E_{уд}$ , тем система более устойчива, и наоборот, чем меньше значение  $A_{уд}$  при данном значении  $E_{уд}$ , тем система, в энергетическом плане, менее устойчива [3].

Применение предлагаемого подхода позволяет раскрыть динамику современных экзогенных процессов, прогнозировать поведение той или иной геоморфосистемы в настоящее время и оценить влияние климатических колебаний на развитие процессов современного рельефообразования.

Карта энергии рельефа исследуемой территории является зеркалом, отражающим скорость и особенности динамики современных экзогенных процессов: чем больше запас потенциальной энергии в рельефе, тем интенсивнее будут протекать современные процессы экзогенного рельефообразования [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-05-98060 р\_сибирь\_a)

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Кузнецов А.С., Поздняков А.В. Динамика развития геоморфосистем как бинарных структур, функционирующих с насыщением (на примере горноледникового бассейна Актру) // Современные проблемы науки и образования (Электрон. науч. журнал). – 2012. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/102-5901> (дата обращения: 06.04.2012).

2. Кузнецов А.С. Энергетический подход в геоморфологическом картографировании // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: [www.science-education.ru/120-16839](http://www.science-education.ru/120-16839) (дата обращения: 12.03.2015).

3. Кузнецов А.С., Невидимова О.Г. Энергетическая оценка динамики осыпных аккумулятивных склонов верховий горноледникового бассейна р. Актру // Вестник ТГУ №338, 2010. – С. 227–230

© А. С. Кузнецов, 2015