

она). В сб.: Эколого-географические проблемы Кольского Севера, Кольский научный центр РАН, Институт проблем промышленной экологии Севера, Апатиты. 1999, с. 28–42.

5. *Sauve, S., Manna, S., Turmel, M.-C., Roy, A.G. & Courchesne, F.* Solid-solution partitioning of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn in the organic horizons of a forest soil. *Environ. Sci. Technol.* (2003). 37(22), 5191–5196.

### **ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВТОРИЧНЫХ АРЕАЛОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ВЫЯВЛЕНИЯ НА ФОНОВЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Никитская К. Е.

Институт водных проблем РАН, г. Москва,  
knikitskaya@yandex.ru

Любой ландшафт, как естественный, так и антропогенно измененный, является сложной пространственной системой, функционирование которой определяется характером взаимосвязей ее отдельных компонентов. Система практически реализуется потоками воды, твердого вещества и растворов химических соединений. Подробный анализ динамики таких потоков, вкуче с анализом загрязнений, поступающих в пределы ландшафтных территорий, и ландшафтно-геоморфологическим анализом местности позволяет дать корректную оценку современного экологического состояния территории и потенциальных ее изменений.

Фоновая территория – это удаленный от потенциальных источников загрязнения участок земной поверхности со сходными с контролируемой территорией почвенным покровом, растительностью и характером хозяйственного использования. Обычно считается, что для фоновых территорий не характерны превышения пороговых значений концентраций химических элементов, так как территория не подвержена или слабо подвержена антропогенному воздействию. Но даже если на территории нет источников загрязнения, она все равно подвержена воздействию атмосферных выпадений, которые формируют определенный уровень присутствия многих химических элементов в пределах водосборных бассейнов.

Геолого-геоморфологические условия территории являются важнейшими факторами формирования структуры речных бассейнов. Они определяют направленность и интенсивность природных и антропогенных процессов. Так, геоморфологическими условиями

определяются характер и интенсивность водной эрозии, транспортирующая способность воды, а, следовательно, и перенос загрязняющих веществ. От литологического состава рельефообразующих пород зависят состав аллювиального и делювиального материала и способность его к перемещению, а также фильтрационные свойства подстилающей поверхности. Важным фактором в функционировании эрозионных морфосистем является соотношение уклонов водотоков разного порядка. Изучение уклонов притока и принимающего водотока необходимо для выявления зон аккумуляции или эрозии, что позволяет проследить путь миграции загрязняющих веществ.

Система водосборного бассейна может быть подразделена на несколько функционально и/или пространственно обособленных участков, различных по типу и скорости геохимического обмена, а, следовательно – и по устойчивости к неблагоприятным воздействиям [1]. Для водосборов верхних звеньев флювиальной сети (до долин 4 порядка включительно по системе Хортона-Стралера) характерно переотложение в их пределах более 75% наносов, поступивших со склонов в днищах долин, что позволяет говорить об их буферной роли или отнести к водосборам-накопителями [2]. На основании этого можно сделать вывод о том, что большая часть загрязняющих веществ, характерных для данной территории (подверженной, в основном, диффузному загрязнению), поступающих вместе с осадками, чаще всего не выносятся за пределы малых водосборов, а аккумулируются вместе с твердым стоком в днищах балочной сети, на аккумулятивных участках долин малых водосборов и у подножий склонов.

При исследовании ряда малых водосборных бассейнов на территории Тверской области, которые по своим специфическим характеристикам могут быть отнесены к фоновым, обнаружено наличие участков, в пределах которых концентрация ряда химических элементов иногда значительно превышает средние показатели по данному району. По аналогии с термином, использованным М.А. Глазвской в 1997 г. [3], такие участки названы ареалами вторичного загрязнения.

На территории одного из водосборов 3-го порядка на территории Тверской области (южный берег Ивановского водохранилища) были выделены несколько ареалов вторичного загрязнения территории. Основанием для их выделения явилось обнаружение серьезного превышения концентраций многих химических элементов на

определенных участках бассейна. Было выяснено, что высокие показатели как валового содержания, так и потенциально и реально подвижных форм химических элементов приурочены к аккумулятивным образованиям отрицательных форм рельефа. Такие образования могут быть выявлены с помощью морфометрического анализа территории. Границы ареалов, определенных в результате совместного анализа геоморфологических, литологических, геохимических и гипсометрических карт практически идентичны. Было проведено несколько контрольных апробаций, как в пределах выделенных ареалов, так и вне их, которые показали уровень совпадения с предсказанными значениями в 83% (по ряду химических элементов). Это позволяет сделать вывод о возможности предварительного камерального выделения потенциальных ареалов вторичного загрязнения территории (табл. 1).

Таблица 1 – Вторичные ареалы загрязнения, их свойства и способы предварительного выделения и уточнения границ

	Древние		Современные	
	Коренные	Гипергенные	Природные	Антропогенные
Свойства ареалов загрязнения и способы их формирования	Ареалы рассеяния химических элементов в непосредственной близости от месторождений полезных ископаемых. На исследуемой территории не встречаются	Образуются путем выветривания материалов коренных пород и их дальнейшего переотложения. Могут служить серьезными источниками ряда химических элементов в ландшафтах	Сформированы и продолжают формироваться эрозивно-аккумулятивными процессами на территории при существующем ныне базисе эрозии	Формируются при резком антропогенном вмешательстве в динамику поверхностного и приповерхностного стока в пределах водосбора, в том числе, при изменении базиса эрозии
Метод выделения	Литолого-геоморфологический	Литолого-геоморфологический, морфометрический	Морфометрический	Морфометрический, с учетом анализа антропогенной нагрузки

Ведущая роль в формировании ареалов вторичного загрязнения территории принадлежит геоморфологическим динамическим факторам. Именно литодинамические потоки, транспортирующие ма-

териал в пределах бассейна, и являются основным фактором, формирующим вторичные ареалы загрязнения. Отличается только время существования и продолжительность действия таких потоков. Одни из них действовали в исследуемом районе на протяжении четвертичного периода, перераспределяя гляциальный и флювиогляциальный материал. Этот древний ландшафт сейчас является почвоподстилающей основой для современных бассейнов. Ареалы, образованные такими потоками, невозможно выделить путем анализа современных морфометрических карт. Здесь необходим геоморфологический и литологический анализ. Эти ареалы выделить сложнее всего, но чаще именно они являются преимущественным источником поступления в ландшафт ряда химических элементов и в своей основе имеют, как правило, древние формы рельефа, поставляющие в пределы водосбора продукты деструкции подстилающих пород, перераспределяемые литодинамическими потоками. В табл. 1 такие ареалы указаны как древние гипергенные. Это могут быть как древние небольшие озерные котловины, так и участки старых аккумулятивных террас, фрагменты долинных зандров и пр. Для каждого химического элемента такие очаги различны. Например, участки долинных зандров, сложенные слабосортированными песками со значительным включением марганцевых конкреций, служат серьезным источником марганца в пределах малого водосборного бассейна. В таких ареалах содержание не только общего, но и потенциально-подвижного марганца на порядок превышает его среднее значение для данного бассейна (70092 против 6227 мг/кг почвогрунта).

Основное перераспределение химических элементов в пределах бассейна идет с поверхностным и внутрипочвенным стоком, который переносит химические элементы в растворенном и взвешенном состоянии, поэтому зоны накопления формируются, исходя из законов отложения и переотложения материала. Связанные с почвами процессы, такие как почвенная эрозия и аккумуляция, происходят в различных пространственных и временных масштабах, будучи контролируемыми в каждом конкретном случае разными факторами с различной интенсивностью [4]. Существенная доля загрязняющих веществ (по разным оценкам от 13 до 78%) может мигрировать вместе с твердым стоком на территории, а соответственно, подчиняется тем же законам транспортировки вещества, что и сам твердый сток.

Для лесного бассейна при выделении участков накопления материала возможно использование масс-баланс индекса или индекса баланса вещества (МБИ) [5,6], основанного на предположении, что различные почвенно-связанные формы рельефа могут быть определены на основании значения некоторого индекса, определяющего зоны преимущественной эрозии, транзитной территории и зоны преимущественной аккумуляции. Для вычисления масс-баланс индекса (МБИ) необходима цифровая модель рельефа (ЦМР) и сравнительный анализ ряда морфометрических карт. Показатель МБИ определяется по формуле (1).

$$MBI = \begin{cases} f(k) \cdot [1 - f(n)] \cdot [1 - f(ht)], & \text{для } f(k) < 0 \\ f(k) \cdot [1 + f(n)] \cdot [1 + f(ht)], & \text{для } f(k) > 0 \end{cases}, \text{ при } MBI \in [-1; 3]. \quad (1)$$

Основные используемые параметры и программное обеспечение, необходимое для их вычисления, приведены в табл. 2. Параметры  $k, ht, n, T_x$  преобразованы при этом в соответствии с формулой (2) [5, 6]:

$$f(x) = \frac{x}{(|x|) + T_x}, \text{ где } x = k, h, t, n; f(k) \in [-1, 1]; f(n, ht, h) \in [0, 1]. \quad (2)$$

Таблица 2. Основные морфометрические параметры и способы их вычисления

Основные морфометрические параметры	Обозначение	Программное обеспечение, позволяющее рассчитать величины
Уклон	$n$	Landserf 2.3 ( <a href="http://www.landserf.org/">http://www.landserf.org/</a> )
Средняя кривизна	$k$	SAGA 2.0.8 ( <a href="http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php">http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php</a> )
Перепады высот относительно местного базиса эрозии	$ht$	SAGA 2.0.8 ( <a href="http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php">http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php</a> )
Коэффициент, учитывающий относительные перепады высот между соседними объектами	$T_x$	SAGA 2.0.8 ( <a href="http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php">http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php</a> )

Считается, что зоны отрицательных значений МБИ представляют собой участки с преобладанием аккумуляции, такие как поймы и депрессии; зоны положительных значений МБИ – с преобладанием эрозии, такие как склоны холмов; и зоны значений МБИ, близких к

нулю, показывают территории, на которых процессы эрозии и аккумуляции сбалансированы, такие как пологие склоны или равнины (рис. 1).

Исследован ряд химических элементов (69) и проанализировано их современное распределение по фоновому бассейну. В результате для большинства элементов отчетливо выделяются три относительно крупных ареала вторичного загрязнения.

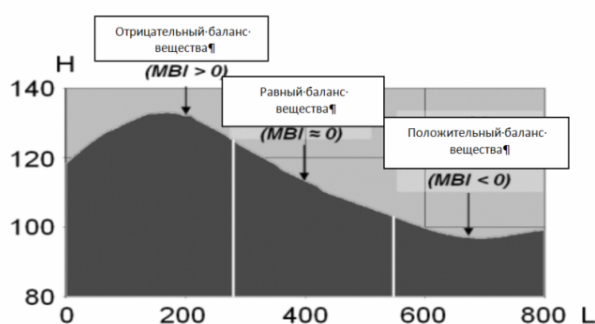


Рис. 1 – Связь между поперечным профилем склона и индексом баланса вещества (МВІ)(Н, высота, L, длина поперечного профиля): показан поперечный профиль территории и позиции на нем отрицательных, положительных и равных значений индекса баланса вещества

На карте-схеме (3D) рис. 2 приведены данные для цинка на примере Южного берега Ивановского водохранилища.

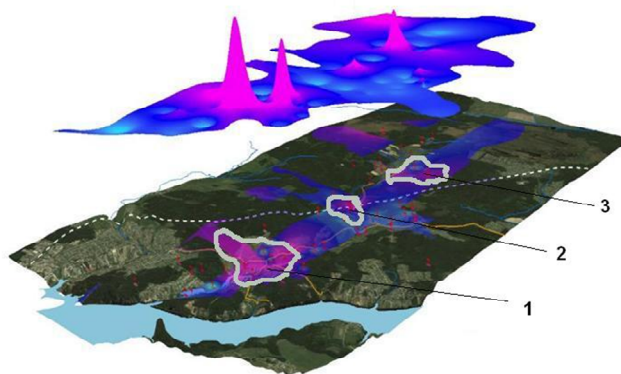


Рис. 2 – 3D карта-схема содержания в пределах низкопорядкового водосбора (южный берег Ивановского водохранилища) цинка во вторичных ареалах загрязнения

На рис. 2 пиками показаны значительные превышения среднего уровня содержания цинка, серыми контурами – современные ареалы загрязнения, цифрами различные типы современных ареалов загрязнения (*природные*: 1 – микродельта и приустьевая зона водотока; *антропогенные*: 2 –участок аккумуляции материала перед крупной железнодорожной насыпью, 3 – расширенный участок поймы перед фрагментом зарегулированного русла реки).

Распределение химических элементов (на примере меди) в разной стадии «подвижности» в пределах каждого из типов ареалов вторичного загрязнения показано в табл. 3.

*Таблица 3 –* Формы нахождения меди в границах разных типов вторичных ареалов загрязнения в пределах водосборного бассейна низкого порядка

Содержание меди, % в среднем Формы:	Древние		Современные	
	Коренные	Гипергенные	Природные	Антропогенные
Жестко связанные	62	74	68	59
Потенциально-подвижные	28	21	17	30
Легкообменные	10	5	15	11

Рассмотрим подробнее каждый из формирующихся ареалов вторичного загрязнения.

**Первый**, наиболее значительный, приурочен к устьевой части малого водотока и сформированной вторичной микродельте, возникшей в результате изменении базиса эрозии из-за образования водохранилища. Эта зона характеризуется высокими показателями общего содержания химических элементов, а также и подвижной и потенциально подвижной их форм (зачастую превышение среднего содержания элемента может достигать порядковых величин), являясь, таким образом, наиболее универсальным ареалом вторичного загрязнения, имеющим современное природное происхождение и определяемым процессами аккумуляции материала.

**Второй** наблюдается в зоне антропогенного нарушения естественных линий поверхностного стока, образованной двумя крупными транспортными артериями (железнодорожной и автомобильной дорогами), пересекающими водосбор в направлении ЮЗ-СВ. Перед насыпью, ограничивающей дорожное полотно, из-за изменений уклона и нарушения естественного русла формируется аккумулятивная зона затрудненного стока с осаждением на пойме реки большого количества тонких наносов.

**Третий** имеет аналогичное второму происхождение и представляет собой расширенный участок поймы перед искусственным каналом и заключенным в трубу руслом реки. В последних двух ареалах происходит накопление потенциально-подвижных форм элементов, а содержание реально подвижных зависит, видимо, от времени существования антропогенного «возмущения», нарушившего естественные тренды линий поверхностного стока. Так, содержание ряда элементов в 3-ем ареале, сформированном значительно позднее второго, ниже, а присутствие реально-подвижных форм элементов мало и для второго и для третьего ареалов вторичного загрязнения. Фактически, мы имеем дела со стадиями развития ареалов вторичного накопления элементов.

В результате можно выделить максимально неблагоприятный тип ареалов вторичного загрязнения. Это зоны современной преимущественной аккумуляции материала: устьевые участки речных долин, тыловые швы речных террас, подножия склонов, крупные западины и пр. Интересно, что именно природные, а не антропогенные ареалы вторичного загрязнения имеют значительную потенциальную опасность. Здесь, безусловно, работает временной фактор. Период существования природно-обусловленных участков аккумуляции материала в ситуации, когда вмешательство человека не носит ураганного характера, значительно длиннее, чем период воздействия некатастрофических антропогенных возмущений (строительство дорог, регулирование русел, мелиоративные работы и пр.).

Важно отметить, что ареалы вторичного загрязнения являются очень нестабильными при изменении окружающих условий (например, резком повышении количества осадков в летний период или изменении кислотности осадков, а также появлении в составе осадков химически активных примесей) могут стать источником существенного выброса загрязняющих веществ. Но поскольку такие участки чаще всего приурочены к речным долинам, то и выброс может произойти в принимающие водотоки. До сих пор эти факторы не учитываются при экологическом анализе, а фоновые территории считаются априори безопасными.

### Литература

1. Шапошников Е.С. Минаева Т.Ю. Комплексный ландшафтно-типологический метод выделения ООПТ // Критерии и методы формирования экологической сети природных территорий. Вып. 1.,



2-е изд. М.: Центр охраны дикой природы СоЭС. С. 32 –37.

2. *Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Структурный анализ типов функционирования и эволюции речных бассейнов // Гидрология и геоморфология речных систем. Иркутск: СО РАН, 1997. С. 44-52.

3. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М., 1997. С. 54.

4. *Steinhardt, U., Volk, M.* Meso-scale landscape analysis based on landscape balance investigations: problems and hierarchical approaches for their resolution. *Ecol. Model.* 168, 2003. Pp. 251–265.

5. *Friedrich, K.* Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. *Frankfurter Geowissenschaftliche Arbeiten D 21*, Frankfurt. M. 1996, pp. 148-153.

6. *Friedrich, K.* Multivariate distance methods for geomorphographic relief classification, in Heinecke, H., Eckelmann, W., Thomasson, A., Jones, J., Montanarella, L., Buckley, B. (eds.): *Land Information Systems – Developments for planning the sustainable use of land resources*. European Soil Bureau – Research Report 4, EUR 17729 EN, Office for official publications of the European Communities, Ispra, 1998, pp. 259–266.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМ  
ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ  
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Решетняк О.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Гидрохимический институт Росгидромета, г. Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>Институт наук о Земле Южного федерального университета,  
г. Ростов-на-Дону  
olgarel@rambler.ru

В современных условиях антропогенного воздействия проблемы рационального природопользования и охраны водных ресурсов становятся жизненно важными, особенно в промышленных районах, где сложилась напряженная экологическая ситуация, сформировались техногенно нарушенные геосистемы и возросла вероятность возникновения на водных объектах чрезвычайных экологических ситуаций, как природного, так и антропогенного характера [1-3]. Речные экосистемы не всегда способны ассимилировать боль-