

## ГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ

УДК 911.2(571, 517)

М.Д. Богданова<sup>1</sup>, М.И. Герасимова<sup>2</sup>, И.А. Горбунова<sup>3</sup>, Н.В. Рябова<sup>4</sup>, М.Ю. Лычагин<sup>5</sup>

## ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ БАССЕЙНА Р. СЕЛЕНГА

Для комплексной оценки условий формирования природных и техногенных потоков вещества в пределах бассейна Селенги и возможностей их поступления в речную сеть составлена ландшафтно-геохимическая карта в масштабе 1:1,5 млн. Учитывались общие принципы систематики геохимических ландшафтов: биологический круговорот, продукция биомов, классы водной миграции. Контрастность рельефа и увлажнения определяет условия миграции вещества: преимущественный вынос его из ландшафтов высокогорий; преобладание транзита в среднегорьях; существенная аккумуляция в межгорных котловинах, осложненная процессами транзита в речных долинах и дельтах. С этих позиций проведена целенаправленная интерпретация свойств основных компонентов ландшафта (рельеф, породы, мерзлота, климат, растительность, почвы) в связи с их ролью в геохимических процессах миграции и аккумуляции веществ. Биогенная миграция представлена традиционным способом (зональность, БИК, продукция); в оценке водной миграции подчеркиваются ее климатические ограничения (продолжительность активного периода, мерзлотные условия). Для механической миграции разные возможности ее проявления оцениваются на уровне миграционных структур разного порядка.

*Ключевые слова:* ландшафтно-геохимическое картографирование, методология, показатели, природные факторы, условия миграции, виды миграции.

**Введение.** Ландшафтно-геохимическое картографирование стало развиваться с 1954 г., когда в журнале «Природа» была опубликована ландшафтно-геохимическая (ЛГХ) карта европейской территории СССР в масштабе 1:10 млн, составленная А.И. Перельманом. В 1964 г. в Физико-географический атлас мира [1964] включена ЛГХ карта А.И. Перельмана всей территории СССР в масштабе 1:20 млн. Обе карты базируются на разработанной А.И. Перельманом классификации геохимических ландшафтов [1961]. Эти две оригинальные карты были первым шагом в развитии нового направления в тематическом картографировании.

К настоящему времени накоплен опыт ЛГХ картографирования разного назначения. Основной массив базовых мелкомасштабных ЛГХ карт опубликован в комплексных атласах наряду с другими тематическими природными картами. Прикладное ЛГХ картографирование развивалось в течение многих лет в поисковой геохимии. В настоящее время наиболее актуально экологическое направление ЛГХ картографирования, ориентированное на оценку условий формирования природных и техногенных потоков вещества, прогноз загрязнения различными элементами и соединениями, оценку устойчивости ландшафтов (и рисков) в разных природных и тех-

ногенно модифицированных регионах, включая города.

А.И. Перельман стоял у истоков и другого направления тематического картографирования, очень близкого к ландшафтно-геохимическому, – почвенно-геохимического (ПГХ). Первая ПГХ карта «Геохимические условия миграции микроэлементов в почвах Среднего региона» в масштабе 1:2,5 млн составлена под его руководством, на ней показано пространственное размещение почвенно-геохимических обстановок, обуславливающих поведение химических элементов и соединений [1979]. Составление этой карты предполагало целенаправленную интерпретацию свойств почв с точки зрения условий миграции в почвенных профилях.

Для комплексной оценки условий формирования природных и техногенных потоков вещества в бассейне Селенги и возможностей их поступления в речную сеть составлена серия карт, отражающих разные аспекты природных условий, способствующих или ограничивающих формирование миграционных потоков. Главная карта в серии – ЛГХ; ее дополняют ПГХ, литогеохимическая и эколого-геохимическая карты.

**Материалы и методы исследований.** Анализ опубликованных мелкомасштабных ландшафтно-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. науч. с, канд. геогр. н.; *e-mail:* md-bogdanova@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, докт. биол. н.; *e-mail:* maria.i.gerasimova@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* iagorb@mail.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, инженер; *e-mail:* rjabova99@mail.ru

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* lychagin@geogr.msu.ru

геохимических карт показал, что в содержании, методологических подходах, выборе параметров имеются определенные различия, связанные с авторскими концепциями, спецификой картографируемой территории, задачами картографирования и исходными фактическими данными. Практически все ЛГХ карты содержат большой объем разнообразной информации. Как правило, общие элементы их содержания представлены зональными ландшафтами или группами формаций растительности с определенными характеристиками биологического круговорота, а также классами водной миграции. На картах по-разному интерпретируются литолого-геоморфологические условия, что зависит от особенностей территории картографирования и авторской концепции. Чаще всего приоритетны зональные подходы.

Представленная в статье ландшафтно-геохимическая карта бассейна Селенги масштаба 1:1,5 млн составлена в целях изучения особенностей ЛГХ дифференциации территории, оценки возможностей поступления загрязнителей в речную сеть; карта основана на анализе природных условий, способствующих формированию миграционных потоков или их ограничивающих.

Бассейн Селенги и ее крупных притоков расположен на территории России и Монголии, занимает Селенгинское среднегорье и окружающие его хребты (северный макросклон Хангайского хр., хребты Хентей, Джидинский и др.) и межгорные котловины. Характерно сочетание зональной и высотно-пооясной структуры ландшафтов: горные тундры и криофитные луга, горная тайга, экспозиционная лесостепь, мезофильные и сухие степи. Изверженные породы часто сменяются метаморфическими, рыхлые отложения имеют небольшую мощность, мерзлотные процессы происходят в тундровом и горно-таежном поясах, эоловые – в степном и сухостепном. Территория картографирования хорошо изучена, есть ряд тематических карт, составленных в разное время и в разном масштабе.

**Результаты исследований и их обсуждение.** *Концептуальная основа карты* предполагает учет контрастности рельефа и увлажнения, что определяет условия миграции вещества – преимущественный вынос его из ландшафтов высокогорий, преобладание транзита в среднегорьях, а также существенная аккумуляция в межгорных котловинах, которая осложнена процессами транзита в речных долинах и дельтах. Такой подход соответствует принципам выделения гидродинамических областей в бассейне Селенги по условиям формирования поверхностного и внутрипочвенного стока [Экосистемы..., 2005] и отражен в схеме ЛГХ районирования [Герасимова и др., 2014].

В геохимических ландшафтах на территории бассейна сформировались характерные условия выноса, транзита и концентрации химических элементов и соединений, реализующиеся в разных типах радиальной и латеральной миграции. Так, миграционные процессы в высокогорьях и среднегорьях бассейна Селенги определяются, с одной стороны,

климатическим потенциалом миграции, с другой – особенностями биологического круговорота и осуществляются в определенных геохимических обстановках в почвах.

Если в областях преимущественного выноса вещества господствует перемещение твердого вещества в виде обвальнo-осыпных явлений, линейной эрозии и солифлюкции с меньшим вкладом водной миграции (растворов), то в областях преимущественной аккумуляции и транзита вещества в процессы миграции–аккумуляции вовлечены в основном мелкозем и растворенные вещества. Соотношение миграционных процессов зависит от морфологии речных долин, характера аллювиальных и делювиально-пролювиальных отложений, в меньшей степени от растительности и ряда локальных явлений (эоловых, криогенных, влияния грунтовых вод). Особенности миграции в растворах во всех геохимических ландшафтах отражены в классах водной миграции.

Ландшафтно-геохимическая карта бассейна Селенги строго не связана с классификациями геохимических ландшафтов [Глазовская, 1989; Перельман, Касимов, 1999], но в ней используются их отдельные положения. Так, при разработке содержания карты учитывались общие принципы систематики геохимических ландшафтов: представления о биологическом круговороте, продукции биомов и классах водной миграции, адаптированные к специфическим особенностям природы бассейна. На карту вынесены наиболее значимые свойства геохимических ландшафтов как природного фона формирования и протекания разнообразных природных и техногенных миграционных процессов в ландшафтах. С этих позиций проведена целенаправленная интерпретация свойств основных компонентов ландшафта (рельеф, породы, мерзлота, климат, растительность, почвы) в связи с их ролью в геохимических процессах миграции и аккумуляции химических элементов и соединений.

*Источниками для составления* ландшафтно-геохимической карты бассейна Селенги послужили разнообразные литературные сведения о природных условиях территории и картографические материалы. Наиболее полезные для наших целей сведения содержатся в монографиях [Геоморфология..., 1982; Ногина, 1964; Почвенный..., 1984; Экосистемы..., 2005]; разнообразны использованные картографические материалы [Атлас..., 1967; Геологическая..., 1972; Государственная геологическая...; Государственная почвенная...; Карта использования..., 1981; Карта растительности..., 1979; Национальный..., 1990; Растительность юга..., 1972]. Для уточнения некоторых характеристик выделяемых ареалов и их границ мы обращались к космическим снимкам GoogleEarth.

Главный источник сведений – почвенно-геохимическая (ПГХ) карта бассейна Селенги, составленная нами в масштабе 1:1,5 млн [Богданова и др., 2015]. Традиционно при ЛГХ картографировании особое внимание уделялось свойствам почв и почвенному профилю – главному звену в миграцион-

а

Миграционные Макроструктуры	Рельеф	Свойства миграционных потоков разных уровней			Растительность	Криофитные луга						
		Потенциальная интенсивность миграции	Ландшафтно- геохимическая контрастность	локального								
Денудационные	I. Высокие горы, сильно- и глубоко- расчлененные	Высокая	Высокая	R << L r < L	Классы водной миграции	Н <sup>+</sup> , Н <sup>+</sup> - Fe <sup>2+</sup>						
							1	кислые	преобладающие	а	б	
							2	кислые	средние	осадочные бескарбонатные	I 4a	I 16
							3	кислые	основные	осадочные бескарбонатные		
							4	кислые	осадочные бескарбонатные	осадочные карбонатные		
							5	кислые	кислые	осадочные карбонатные		
							6	средние	основные	осадочные бескарбонатные		
							7	средние	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные		
							8	средние	кислые	осадочные бескарбонатные		
							9	основные	средние	осадочные бескарбонатные		
							10	основные	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные		
							11	основные	кислые	осадочные бескарбонатные		
							12	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные		
							13	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные	I 13a	I 12б
							14	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные		
							15	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные		
							16	осадочные бескарбонатные	осадочные бескарбонатные	осадочные карбонатные		
							17	осадочные карбонатные	осадочные карбонатные	осадочные карбонатные	I 17a	
18	осадочные карбонатные	кислые	осадочные карбонатные									

Климат

Очень холодный

Атмосферное увлажнение

Повышенное

Продолжительность безморозного периода (мес.)

1-2

Мерзлотные условия

Сплошная многолетняя мерзлота

Интенсивность биологического круговорота

Очень низкая и низкая

Биопродукция (т/га/год)

2-4

Свойства миграционных  
потоков разных уровней

локального

Соотношение  
радиальных  
(R, r)  
и латеральных  
(L, l)  
потоковПотенциальная  
интенсивность  
миграцииЛандшафтно-  
геохимическая  
контрастность

Рельеф

Высокая

Высокая

I. Высокие горы,  
сильно- и глубоко-  
расчлененные

Денудационные

Макроструктуры

Миграционные

Криофитные  
луга

Растительность

Классы водной  
миграцииН<sup>+</sup>, Н<sup>+</sup> - Fe<sup>2+</sup>

Преобладающие

а

б

I 16

I 4a

I 13a

I 17a

I 12б

Миграционно-аккумулятивные структуры	Растительность		Кустарники – береза, ива Участки тополевых лесов	Злаково-разнотравные луга
	Почвы		Аллювиальные слаборазветые и дерновые (24, 25)	Аллювиальные перегнойно-гумусовые и дерновые глееватые (25, 27)
	Рельеф	Классы влдной миграции Отложения	H <sup>+</sup> H <sup>+</sup> – Fe <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Транзитные	Узкие поймы горных рек с участками долин прорыва	Галечниково-валунно-щебнистые	1	2
	Поймы слабо-меандрирующих рек	Мелкоземисто-щебнисто-галечниковые	3	4

Фрагмент легенды ландшафтно-геохимической карты бассейна Селенги: *a* – основная легенда; *b* – легенда для дельтово-долинных ландшафтов

Fragment of the legend to the landscape-geochemical map of the Selenga River basin: *a* – main legend; *b* – legend for deltaic-valley landscapes

ных потоках. На ПГХ карте подробно отражены основные факторы миграции и аккумуляции веществ в почвах.

**Содержание ландшафтно-геохимической карты** представлено геохимическими ландшафтами с акцентом на условия и процессы выноса и аккумуляции вещества. Учитывая приоритет литолого-геоморфологических факторов для горной территории, в основу пространственной дифференциации геохимических ландшафтов положена составленная ранее карта ЛГХ районирования бассейна Селенги масштаба 1:2,5 млн [Герасимова и др., 2014].

По преобладанию главных процессов пространственной дифференциации вещества среди всего массива геохимических ландшафтов бассейна выделены дельтово-долинные ландшафты. Последние включают речные долины, внутренние дельты, дельту Селенги и озерные впадины; они называются «геохимическими ландшафтами с преобладанием процессов транзита и аккумуляции». Основной массив геохимических ландшафтов бассейна определяется как «геохимические ландшафты с преобладанием процессов выноса и транзита», это горные хребты, плато, склоны, подгорные равнины. Таким же образом выделены гидродинамические области, включающие «типы местоположений, где происходят разнокачественные процессы твердого стока» [Экосистемы..., 2005]. Рассмотрим особенности обеих групп геохимических ландшафтов.

*Геохимические ландшафты с преобладанием процессов выноса и транзита.* Картографирование ландшафтов этой группы оказалось сложным и потребовало учета многих взаимозависимых показателей, которые можно разделить на два блока:

1) биоклиматический потенциал миграции–аккумуляции вещества, обеспечивающий возможность и продолжительность протекания процессов выно-

са, трансформации, переноса и аккумуляции вещества в ландшафтах (достаточность увлажнения и термических ресурсов, вклад растительных сообществ, геохимические функции почв);

2) литолого-геохимические условия реализации этих процессов, т.е. миграционные структуры.

Биоклиматический потенциал миграции–аккумуляции вещества в ландшафтах определяется зональными условиями, которые охарактеризованы климатическими и биотическими показателями. Климатический компонент потенциала представлен следующими показателями: тип климата (очень холодный, холодный, умеренно холодный и умеренно теплый); длительность безморозного периода, в течение которого могут протекать миграционные процессы; характер увлажнения (повышенное, достаточное, недостаточное и скудное), что с позиций оценки процессов миграции очень важно, поскольку количество влаги в ландшафте определяет возможности водной миграции. Дополнительно приведены сведения о геокриологических условиях: сплошная, островная мерзлота и длительное сезонное промерзание. Резко континентальный климат и неблагоприятные геокриологические условия определяют краткость и заторможенность миграционных процессов в геохимических ландшафтах первой группы.

Интенсивность и емкость биологического круговорота веществ сильно варьируют в пределах бассейна. Большой набор высотных поясов (от нивального до степных) в сочетании с экспозиционными эффектами определяет резкую дифференциацию условий биогенной миграции. Интенсивность биологического круговорота оценена от очень низкой в тундровом поясе до высокой в настоящих степях. В качестве показателя использована величина биопродукции. Для нее приводятся количественные

характеристики (т/га/год), полученные как прямыми измерениями, так и экстраполяцией данных о типичных растительных сообществах в соответствии с известными правилами [Базилевич и др., 1986].

Геохимические обстановки в ландшафтах характеризуются классами водной миграции. На территории бассейна преобладают кислые и кислые глеевые ( $H^+$ ,  $H^+-Fe^{2+}$ ) классы в верхних горных поясах – тундровом и таежном, в степном поясе –  $Ca^{2+}$  и  $Ca^{2+}-Na^+$ .

Литолого-геоморфологические условия миграции во внедолинных геохимических ландшафтах определяются характером рельефа в сочетании со свойствами пород. По соотношению общих процессов перемещения вещества выделено три типа макроструктур: денудационные, аккумулятивно-денудационные и денудационно-аккумулятивные, объединяющие 9 типов рельефа. В пределах каждого типа возможности формирования миграционных потоков различаются на региональном и локальном уровнях.

На локальном уровне традиционно различаются тренды миграционных потоков по соотношению вертикально направленного радиального ( $R$ ) потока, осуществляющего обмен веществом (преимущественно в форме водной миграции) между ярусами элементарного ландшафта, и латерального ( $L$ ) – склонового и внутрипочвенного потока в сопряженных системах автономный ландшафт – подчиненный ландшафт [Касимов и др., 2012], который в бассейне Селенги реализуется в форме не только водной, но и гравитационной миграции. Так, для высоких и средних сильнорасчлененных гор  $R \ll L$ , для умеренно расчлененного плато  $R < L$ , для средневысотных гор и плоскогорий  $R \approx L$ , на высоких равнинах с отдельными останцами эта характеристика имеет вид  $r > l$ , что отражает слабую интенсивность с преобладанием радиальной миграции. Локальные миграционные потоки зависят от увлажнения и дифференцированы по вертикальным поясам (таежные, лесостепные, степные).

На региональном уровне отдельных горных массивов, плато, мелкосопочника экспертным путем оценивается потенциальная интенсивность миграции от высокой (в горах) до низкой (в степных высоких равнинах и межгорных котловинах). Наряду с водной предполагаются и разные формы механической миграции – обвально-осыпной, делювиальной, пролювиальной, эоловой. Ландшафтно-геохимическая контрастность оценивается по сложности макрокатаген, т.е. участия в последних более или менее широкого спектра катен разных высотных поясов – степных, таежных, экспозиционно-лесостепных, гольцовых. Высокая контрастность характерна для высоких и средних гор с большим диапазоном вертикальной поясности от гольцов до сухих степей. Низкая контрастность присуща равнинным степным территориям.

Характерная природная особенность бассейна – значительная пестрота магматических и метаморфических пород (преимущественно кислого и основного состава), чередующихся с вулканогенными и терригенными образованиями, что обуславливает

чрезвычайно разнообразный литогеохимический фон и господство гетеролитных ЛГХ структур на всех уровнях. Сложность и разнообразие массивов горных пород, осложненных разломной тектоникой, отражены на карте сочетанием преобладающих и дополнительных (сопутствующих) плотных пород, главным образом изверженных и метаморфических, а также осадочных. На территории бассейна выявлено 26 вариантов сочетания пород.

*Геохимические ландшафты с преобладанием процессов транзита и аккумуляции.* Миграционные структуры речных долин, внутренних дельт и замкнутых озерных котловин ранжированы по соотношению процессов транзита и аккумуляции вещества, которые зависят от интенсивности водообмена и транспортирующей способности реки. Соотношение определяется экспертным путем по морфологии долины, особенностям меандрирования основного русла и проток, обилию русел и стариц, их точности, перепаду высот на участках долины, засолению или заболоченности, составу отложений. В соответствии с перечисленными критериями выделены геохимические ландшафты долин, дельт и озерных котловин, которые были сгруппированы следующим образом:

- транзитные (узкие поймы горных рек с участками долин прорыва и поймы слабомеандрирующих рек с галечниково-валунным аллювием);
- транзитно-аккумулятивные (поймы умеренно меандрирующих рек, внутренние дельты и дельта Селенги);
- преимущественно аккумулятивные (поймы сильномеандрирующих рек с мелкоземистым аллювием);
- аккумулятивные (бессточные и слабодренированные депрессии и котловины) ландшафты.

Всего выделено 17 типов геохимических ландшафтов с преобладанием процессов транзита и аккумуляции. Контуры дельтово-озерно-речных ландшафтов выделены путем дешифрирования космических снимков (GoogleEarth).

Детальность представления на карте геохимических ландшафтов дополнена общей картиной распределения видов *миграционных процессов*. Бассейн Селенги отличается контрастными условиями миграции с преобладанием механической (гравитационные и эоловые процессы) и водной. На севере (в бурятской части бассейна) и в хр. Хангай и Хентей при достаточном количестве осадков преобладает водная миграция, в горах она сочетается с механической. На значительной части территории, особенно в южных районах, при малом количестве осадков господствуют процессы механической миграции: в горах – обвально-осыпные, делювиальные, солифлюкционные; в мелкосопочнике и среднегорьях широко распространены эоловые процессы.

*Легенда карты.* Содержание карты синтезировано в двух матричных легендах, соответствующих разделению геохимических ландшафтов на внедолинных и дельтово-озерно-речных, матричная форма легенд считается оптимальной для таких сложных карт (рисунок).

Многоуровневая матричная легенда внедолинных ландшафтов представляет миграционные структуры и биоклиматический потенциал геохимических ландшафтов: в столбцах содержатся климатические и биотические показатели; в строках – характеристики условий миграции, связанные с рельефом и породами. Комбинациями показателей в ячейках легенды представлены геохимические ландшафты с определенным набором миграционных структур, биоклиматическим миграционным потенциалом и классами водной миграции.

Вторая матрица отражает обстановки миграции в речных долинах, дельтах и озерных котловинах, она значительно проще в силу меньшего разнообразия и сложности строения картографируемых объектов.

В обеих матрицах приводятся названия господствующих растительных сообществ и почв, как это делается на многих ЛГХ картах. Свойства почв учитываются двумя способами. С одной стороны, генетические названия почв в легенде можно считать «кодом», прочтение которого дает характеристику свойств почв, важных для оценки процессов геохимических миграций. С другой стороны, к генетическим названиям почв добавлены номера, соответствующие единицам легенды почвенно-геохимической карты, где раскрыты наиболее важные геохимические свойства почв (кислотно-основные, окислительно-восстановительные, водный режим, наличие горизонтов – геохимических барьеров). Таким способом представлена более полная информация о комплексе условий геохимической миграции в ландшафтах и почвах.

Основное содержание карты передается цветом. Подбор цветовой гаммы определяется разделением ландшафтов на макроструктуры и иллюстрирует интенсивность процессов денудации – транзита – аккумуляции. Штриховкой показаны миграционные процессы.

Особое значение для изучения трансграничного переноса в оз. Байкал и условий миграции веществ в ландшафтах и их компонентах имеет анализ фак-

торов миграции в речных водах. Для отражения этих условий к ЛГХ карте добавлена *карта-врезка* в масштабе 1:5 млн «Условия миграции в речных водах». Обстановка миграции химических элементов и соединений в речных водах во многом зависит от кислотно-основных условий (интервалов значений pH), влияющих на растворимость соединений и их подвижность. Минерализация вод и количество речных взвесей характеризуют реальную миграцию веществ по речным системам – в виде растворов (минерализация, мг/л) и во взвешенном состоянии (содержание взвесей, мг/л). Источниками составления карты послужили полевые материалы экспедиции «Селенга–Байкал», проводившей исследования рек бассейна Селенги в 2011–2015 гг. Основной массив данных относится к меженному периоду и характеризует наиболее типичное состояние речных вод. Содержание карты основано на обобщенных данных по трем характеристикам.

#### Выводы:

– ландшафтно-геохимическая карта бассейна Селенги содержит как традиционные черты карт этого направления тематического картографирования, так и новые, связанные со спецификой территории. К традиционным можно отнести использование большого числа параметров, поэтому карта снабжена сложной легендой в матричной форме;

– концептуально карта основана на «классических» представлениях о видах миграции – механической, биогенной, водной. Биогенная миграция представлена традиционным способом (зональность, БИК, продукция), для водной миграции приведены ее климатические ограничения (продолжительность активного периода, геокриологические условия). Возможности проявления механической миграции оцениваются на уровне миграционных структур разного порядка для нескольких вариантов (обвально-осыпные, делювиальные, эоловые и другие процессы). Отношение к механической миграции в значительной степени определяется комплексом природных условий территории.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00083). Авторы благодарны сотрудникам Российско-Монгольской экспедиции С.Н. Баже, П.Д. Гунину, С.Ф. Концову, а также И.С. Михайлову за консультации по полевым исследованиям и предоставленные картографические материалы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аглас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). М.: Иркутск: ГУГК, 1967.
- Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 298 с.
- Богданова М.Д., Герасимова М.И., Горбунова И.А. и др. Почвенно-геохимическая карта бассейна Селенги // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Мат-лы междунар. конференции, Бэмби Сан Улан-Батор, Монголия. 2015. Т. 1. С. 392–396.
- Геологическая карта Монгольской Народной Республики, масштаб 1:1,5 млн / Гл. ред. Н.А. Маринов. М.: ГУГК, 1972.
- Геоморфология Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1982. 364 с.
- Герасимова М.И., Касимов Н.С., Горбунова И.А. и др. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна Селенги // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 6. С. 66–72.
- Глазовская М.А. Геохимические ландшафты мира: концепция и принципы картографирования // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1989. № 5. С. 25–33.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации, масштаб 1:1 млн, листы М-48, М-49, N-48, N-49. М.: Роснедра, 2009–2012.

Государственная почвенная карта СССР, масштаб 1:1млн, листы М-48, М-49, N-48, N-49. М.: ГУГК, 1963–1980.

Карта использования почв Монголии, масштаб 1:1 млн / Под ред. И.С. Михайлова, Д. Доржготова. Листы L-47, L-48, M-47, M-48. Советско-Монгольская комплексная экспедиция АН СССР, 1981.

Карта растительности Монгольской Народной Республики, масштаб 1:1,5 млн / Под ред. Е.М. Лавренко. М.: ГУГК, 1979.

Касимов Н.С., Гаврилова И.П., Герасимова М.И., Богданова М.Д. Ландшафтно-геохимическая карта России в Национальном атласе // Геохимия ландшафтов и география почв. К 100-летию М.А. Глазовской. М.: АИП, 2012. С. 45–58.

Национальный атлас Монгольской Народной республики. Улан-Батор; Москва: ГУГК, 1990.

Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.  
Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Гос. изд-во геогр. лит-ры, 1961. 496 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 1999. 764 с.

Почвенный покров и почвы Монголии. М.: Наука, 1984. 191 с.

Растительность юга Восточной Сибири, масштаб 1:1,5 млн / Под ред. В.Б. Сочавы. М.: ГУГК, 1972.

Физико-географический Атлас мира. М.: ГУГК, 1964.  
Экосистемы бассейна Селенги. М.: Наука, 2005. 359 с.

Поступила в редакцию 15.02.2016  
Принята к публикации 16.03.2016

M.D. Bogdanova<sup>1</sup>, M.I. Gerasimova<sup>2</sup>, I.A. Gorbunova<sup>3</sup>,  
N.V. Ryabova<sup>4</sup>, M.Yu. Lychagin<sup>5</sup>

#### LANDSCAPE-GEOCHEMICAL STUDIES IN THE SELENGA RIVER BASIN

The landscape-geochemical map, scale 1:1,5M, was compiled to facilitate the integrated assessment of natural and technogenic fluxes of matter within the catchment area of the Selenga River with its main tributaries, and to forecast the possibility to be discharged into these rivers. The following major approaches to characterize the geochemical landscapes were applied: biological cycling, production of biomes, water migration classes. Contrasts in relief and moisture patterns differentiate conditions of substances and chemical elements translocation: removal from landscapes of highlands, predominance of transit in midlands, prevailing accumulation in intermontane depressions and in river valleys and deltas, where accumulation is associated with transit phenomena. Bearing this in mind, a purposeful interpretation was performed for the main landscape components (relief, rocks and sediments, climate, permafrost, vegetation, soils) revealing their contributions to geochemical migrations. The biogenic migration is represented in a traditional way (zones, biological cycling, production); for water migration the emphasis is put on its climatic restrictions (duration of active period, freezing and permafrost). Diverse manifestations of mechanical migration are implemented in migrational structures of different hierarchical levels.

*Keywords:* landscape-geochemical mapping, methodology, parameters, natural factors, conditions for geochemical migrations, types of migration.

*Acknowledgements.* The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project N 14-27-00083). The authors express their gratitude to S.N. Bazha, P.D. Gunin, S.F. Kontsov, members of the Russian-Mongolian Expedition, as well as to I.S. Mikhailov for consulting on field research and providing with maps.

#### REFERENCES

Atlas Zabajkal'ja (Burjatskaja ASSR i Chitinskaja oblast') [Atlas of Trans-Baikal Area (Buriat Republic and Chita oblast)], Moscow; Irkutsk, GUGK, 1967 (in Russian).

Bazilevich N.I., Grebenshnikov O.S., Tishkov A.A. Geograficheskie zakonomernosti struktury i funkcionirovaniya ekosistem [Geographical regularities of structure and functioning of ecosystems], Moscow, Nauka, 1986, 298 p. (in Russian).

Bogdanova M.D., Gerasimova M.I., Gorbunova I.A. et al. Pochvenno-geohimicheskaja karta bassejna Selengi [Soil-geochemical

map of the Selenga River basin], «Ekosistemy Central'noj Azii v sovremennyh uslovijah social'no-jekonomicheskogo razvitija», Matly Mezhd. konf., Bjembi San Ulan-Bator, Mongolija, 2015, vol. 1, pp. 392–396 (in Russian).

Fiziko-geograficheskij Atlas mira [Physico-geographical World Atlas], Moscow, GUGK, 1964 (in Russian).

Geologicheskaja karta Mongol'skoj Narodnoj Respubliki [Geological map of Mongolian People Republic], scale 1:1,5 M. Editor-in-Chief N.A. Marinov, Moscow, GUGK, 1972 (in Russian).

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Research Scientist, PhD in Geography; *e-mail:* md-bogdanova@yandex.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Biology; *e-mail:* maria.i.gerasimova@gmail.com

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Associate Professor, PhD in Geography; *e-mail:* iagorb@mail.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of World Economy, Engineer; *e-mail:* rjabova@mail.ru

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Associate Professor, PhD in Geography; *e-mail:* lychagin@geogr.msu.ru

Geomorfologija Mongol'skoj Narodnoj Respubliki [Geomorphology of Mongolian People Republic], Moscow, Nauka, 1982, 364 p. (in Russian).

*Gerasimova M.I., Kasimov N.S., Gorbunova I.A.* et al. Landshaftno-geohimicheskoe rajonirovanie bassejna Selengi [Landscape-geochemical zoning of the Selenga River basin], Vestnik Mosk. un-ta, ser. geogr., 2014, no 6, pp. 66–72 (in Russian).

*Glazovskaja M.A.* Geohimicheskie landshafty mira: koncepcija i principy kartografirovanija [Geochemical landscapes of the World: concepts and principles of mapping], Izv. AN SSSR, ser. Geograficheskaja, 1989, no 5, pp. 25–33 (in Russian).

Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii [State Geological map of the Russian Federation], scale 1:1 M, listy M-48, M-49, N-48, N-49. Moscow, Rosnedra, 2009–2012 (in Russian).

Gosudarstvennaja pochvennaja karta SSSR [State Soil Map of the USSR], scale 1:1 M, listy M-48, M-49, N-48, N-49. Moscow, GUGK, 1963–1980 (in Russian).

Jekosistemy bassejna Selengi [Ecosystems of the Selenga River basin], Moscow, Nauka, 2005, 359 p. (in Russian).

Karta ispol'zovanija pochv Mongolii [Map of land use of Mongolian soils], scale 1:1M. Editors: I.S. Mihajlov, D. Dorzhgotov. Sheets: L-47, L-48, M-47, M-48. Sovetsko-Mongol'skaja kompleksnaja jekspedicija AN SSSR, 1981 (in Russian).

Karta rastitel'nosti Mongol'skoj Narodnoj Respubliki [Vegetation map of Mongolian People Republic], scale 1:1,5 M. Ed. by E.M. Lavrenko, Moscow, GUGK, 1979 (in Russian).

*Kasimov N.S., Gavrilova I.P., Gerasimova M.I., Bogdanova M.D.* Landshaftno-geohimicheskaja karta Rossii v Nacional'nom atlase [Landscape-geochemical map in the national Atlas of Russia], Geohimija landshaftov i geografija pochv. K 100-letiju Marii Al'fredovny Glazovskoj, Moscow, APR, 2012, pp. 45–58 (in Russian).

Nacional'nyj atlas Mongol'skoj Narodnoj respubliki [National Atlas of Mongolian People Republic], Ulan-Baatar–Moscow, GUGK, 1990 (in Russian).

*Nogina N.A.* Pochvy Zabajkal'ja [Soils of Trans-Baikal area], Moscow, Nauka, 1964, 314 p. (in Russian).

*Perel'man A.I.* Geohimija landshafta [Geochemistry of landscape], Moscow, Izd. Geograf. lit-ry, 1961, 496 p. (in Russian).

*Perel'man A.I., Kasimov N.S.* Geohimija landshafta [Geochemistry of landscape], Moscow, Astreja, 1999, 764 p. (in Russian).

Pochvennyj pokrov i pochvy Mongolii [Soil cover and soils of Mongolia], Moscow, Nauka, 1984, 191 p. (in Russian).

Rastitel'nost' juga Vostochnoj Sibiri [Vegetation of the south of Eastern Siberia], scale 1:1,5 M. Ed. by V.B. Sochava, Moscow, GUGK, 1972 (in Russian).

Received 15.02.2016

Accepted 16.03.2016