

**ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ БАССЕЙНА р. АМУР
(РОССИЙСКАЯ ЧАСТЬ)**

А.Ф. Махинова¹, А.Н. Махинов¹, В.А. Купцова¹, Лю Шугуан², В.В. Ермошин³

¹*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Ким-Ю-Чена 65, г. Хабаровск, 680000;
e-mail: mahinova@ivep.as.khb.ru*

²*Университет Тунцзи, ул. Сипин 1239, г. Шанхай, КНР, 200092; e-mail: liusgliu@tongji.edu.cn*

³*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Радио 7, Владивосток, 690004; e-mail: yermoshin@tig.dvo.ru*

Поступила в редакцию 11 марта 2013 г.

Дана ландшафтно-геохимическая характеристика территории российской части бассейна р. Амур. Показано влияние географических факторов на формирование почвенно-геохимических систем. Пространственная неоднородность концентраций химических элементов в фоновых почвах рассматривается как функция их миграционной активности в составе органо-минеральных комплексов. Отражены закономерности формирования сопряженных ландшафтно-геохимических структур. Предлагаются новые подходы и принципы ландшафтно-геохимического районирования. С этих позиций составлена карта «Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна р. Амур», М 1:2 500 000, где показаны ландшафтно-геохимические структуры, отражающие пространственную неоднородность концентраций химических элементов и условия их миграции в почвах.

***Ключевые слова:* почвы, почвенно-геохимические потоки, зоны миграции, ландшафтно-геохимическое районирование, бассейн р. Амур.**

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация природопользования в бассейне р. Амур способствует активному заселению территории. Учитывая, что страны АТР обнаруживают интерес к этому региону как к источнику стратегического сырья, вопросы экологической безопасности природных ландшафтов остаются чрезвычайно актуальными.

Однако современный уровень знаний, накопленный при изучении геохимии природных и техногенных ландшафтов, остается недостаточным. Многие районы в бассейне Амура слабо исследованы. Разнообразие природных условий и широкий спектр загрязняющих веществ делают крайне сложным анализ природных комплексов, а недостаточная изученность территории затрудняет правильную интерпретацию имеющихся результатов. В научной литературе отсутствуют методы оценки риска техногенного давления на экосистемы и численные модели расчетов экологических ограничений хозяйственной деятельности. Описана лишь методология оценки планирования

территории [13]. Дискуссионными остаются многие теоретические и прикладные вопросы, связанные с исследованиями химического загрязнения и деградации почв [15], входящие в число фундаментальных задач экологии почв и геохимии ландшафтов [7, 8, 10, 14]. Раскрытие механизмов перераспределения загрязняющих веществ в почвах позволит выявить формирование геохимических потоков и их границы в пространстве.

Цель работы состоит в изучении геохимического фона бассейна Амура, динамические показатели концентраций которого позволят оценить: а) геохимическую активность элементов в различных почвенно-экологических условиях, б) разработать классификацию ландшафтно-геохимических структур для районирования территории.

ПРЕДМЕТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованы и описаны фоновые почвы основных типов ландшафтов российской части бассейна Амура (рис. 1). Разрабатываемые месторождения

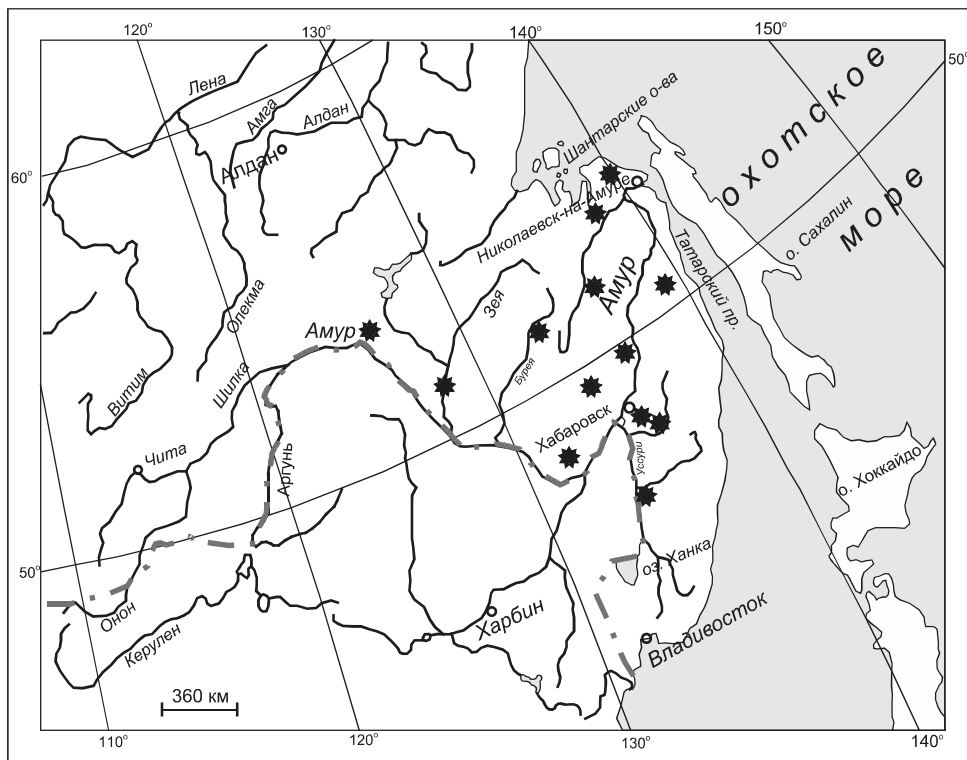


Рис. 1. Основные районы исследований.

(Многовершинное, Албазинское, Золотая гора, Ургальское, Покровское, Таракановское рудное поле) рассматриваются как районы геохимически аномальные, определены зоны их влияния на почвы.

Содержание общего углерода почвы как основного фактора формирования геохимических потоков определяли методом бихроматного окисления [2]. В слое 0–30 см основных типов почв (горизонты A1 и A1B) определяли содержание микроэлементов (Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Cd) с использованием метода ICP OES (эмиссионно-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой на спектрокане No 835-Lif 200). Численные значения множества концентраций химических элементов обработаны в доверительном интервале общепринятыми методами вариационной статистики [4]. Использованы методы географической интерполяции для построения вероятностных зон миграции на территориях, не попадающих в квадраты с ключевыми участками.

В методическом отношении задача состояла в том, чтобы определить природные региональные уровни содержания микроэлементов в фоновых почвах, выявить их варьирование и отклонение от нормы, составить картосхему ландшафтно-геохимического районирования бассейна р. Амур.

Картографирование почвенно-геохимических структур выполнялось на основе современных ГИСТехнологий в программной среде ArcGis 10 (ArcMap), масштаб 1:2 500 000.

Материалы были собраны в период 2006–2012 гг. в процессе выполнения работ по проекту РФФИ 06-05-96072-р_восток_a «Пространственно-временной анализ процессов самовосстановления природных ландшафтов при горнорудном освоении территории (на примере Хабаровского края)» и при инженерно-экологических изысканиях в зоне строительства нефтепровода ВСТО, магистрального газопровода Сахалин–Хабаровск–Владивосток, а также по проекту МНТЦ № 4008 «Экологические критерии и ограничения в программах устойчивого природопользования бассейна р. Амур».

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Территория бассейна Амура расположена в умеренных широтах Восточной Азии и простирается более чем на 2500 км с запада на восток. Ее площадь в пределах Российской Федерации составляет почти 995 тысяч км² (54 % общей площади бассейна). Климат умеренно-континентальный, с муссонными чертами в восточной части. Количество годовых осадков изменяется от 300–350 мм в западной части бассейна истоков Амура до 750–800 мм в нижнем течении Амура [18].

Среднегорные и низкогорные хребты с межгорными впадинами – характерный облик поверхности бассейна Амура. В пределах горных районов распространены разновозрастные магматические и осадочные породы. Мощность рыхлых отложений в горах варьирует от 0.4 до 2.5 м и контролируется формой и

крутизной склонов [12]. Мощность отложений межгорных впадин достигает нескольких сотен метров [12, 15].

Экзогенные факторы определяют разнообразие ландшафтов, почвенного покрова и геохимические особенности территории.

Территория лежит в области распространения многолетнемерзлых пород, за исключением юго-восточных районов Приамурья, характеризующихся глубоким сезонным промерзанием грунтов. Влияние длительно-сезонной мерзлоты на формирование почвенного покрова неоднозначно [15]. Медленное оттаивание почв в горах сокращает активный биологический период, ограничивает проникновение корневых систем в глубь почвенного профиля, влияет на формирование геохимических потоков и внутрипочвенный сток.

Обширные равнины с особым типом водообмена способствуют накоплению органического вещества. На заболоченных территориях длительно-сезонная мерзлота снижает активность процессов регенерации кислорода в торфяной толще, понижает период эмиссии двуокси углерода и метана (CO_2 и CH_4) в атмосферный воздух, что оказывает влияние на состав болотных вод и поведение некоторых химических элементов.

В долинах Амура и его крупных притоков распространены широкие поймы и террасы с большой мощностью рыхлых отложений. В лугово-степной зоне встречаются карбонатные отложения.

В бассейне Амура выявлены месторождения железистых и железисто-марганцевых руд (табл. 1) [1, 11, 21]. Распространены сульфидсодержащие месторождения рудного золота, олова, месторождения каменного и бурого углей. В местах разработки коренных месторождений происходит преобразование ландшафтов и загрязнение почв.

В пределах российской части бассейна Амура выделяются пять физико-географических зон: тундровая (с подзоной лесотундровая), таежная (с подзонами южной и средней тайги), лесная (с подзонами хвойно-широколиственных лесов, средней и южной тайги), лесостепная и лугово-степная [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Геохимические свойства природных ландшафтов

Разнообразие природных ландшафтов бассейна Амура отражает сложность геохимических процессов. Все ландшафты сопряжены потоками веществ терригенного материала и внутрипочвенных раство-

Таблица 1. Валовое содержание железа в почвообразующих породах и некоторых железосодержащих рудах бассейна Амура [1].

Почвообразующие породы	Fe, %	Типы месторождений железа и марганца	Fe, %
Базальты	11.49	Магнетитовый (Fe_3O_4)	>80
Андезибазальты	10.10	Гематитовый (Fe_2O_3)	>70
Диориты	7.93	Сидеритовый (FeCO_3)	>60
Суглинисто-глинистые отложения	4.21	Бурожелезняковый ($\text{FeOOH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$)	>80
Кларк в земной коре	4.65		

ров. Региональный фон образуют Fe и Mn, что во многом определяет поведение Zn, Cu в почвах и согласуется с распространением вулканогенно-осадочных гематит-магнетитовых кварцитов в Амурском бассейне [11, 25]. Миграция элементов и их соединений определяется климатическим и биогеохимическим потенциалом территории [10], особенностями рельефа и мощностью рыхлых отложений. Климатический потенциал характеризуется коэффициентом увлажнения и длительностью безморозного периода, а биогеохимический – показателями концентраций агрессивных фракций гумусовых кислот [22, 24, 25, 27].

Закономерности геохимической обстановки в ландшафтах бассейна Амура представлены в таблице 2 и проявляются следующим образом.

В горно-тундровых и лесотундровых ландшафтах, где преобладает физическое выветривание горных пород, геохимический фон территории определяют криолитопотоки. Интенсивность криолитопотоков в маломощном профиле почв поддерживает высокое содержание валовых форм железа и марганца, а их перераспределение в почвах, относительно содержания в породе, обусловлено процессами денудации [12, 15].

В таежных и лесотаежных ландшафтах геохимическая обстановка определяется процессами фульвогенеза. Разложение биомассы способствует образованию агрессивных фракций фульвокислот, которые выщелачивают первичные минералы и приводят к образованию полуторных оксидов (R_2O_3) и органо-минеральных соединений. Поведение Fe и Mn в почвах согласуется с содержанием гумуса и его фракционным составом [27]. При высоких концентрациях оксидов железа происходит их сегрегация в железистые конкреции [22, 25]. В лесотаежных ландшафтах

Таблица 2. Ландшафтно-геохимическое сопряжение и особенности латеральной и радиальной миграции элементов в бассейне Амура.

Основные типы ландшафтов	Факторы, контролирующие геохимические процессы ландшафтов		Особенности геохимического фона в почвах (к породам)	Водообмен в почвах	Почвенно-геохимические зоны миграции	*Почвенно-геохимические потоки		
	Условия формирования	Некоторые свойства почв				R	L	W
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Тундровые Гольцовые	1. Многолетняя мерзлота 2. Литология	Замедленный биокруговорот	**a{ Fe, Mn a{ Fe, Mn d{ Pb, Zn	Провальный	Зона криотурбации и литогенеза а) Автоморфная зона криотурбации б) Автоморфная зона криотурбации и литогенеза	Rv	Ls	Wz
2. Лесотундровые Кедрово-сланниковые						-	Ls	Wz
3. Таяжное среднегорье а) шихтово-еловые б) лиственнично-березовые леса	1. Многолетняя мерзлота 2. Уклон склона 3. Окислительные условия	Преобладание фракций (фр.) фульвокислот, Сг.к./Сф.к.<1	a{ Fe(Fe ₂ O ₃)n, Mn(Mn ₂ O ₇)n f{ Al, Cu, Zn d{ Co, Ni	Интенсивно промывной	Зона фульвогенеза и ферраллитизации а) Латерально-трансэлювиальная зона б) Латерально-трансаккумулятивная зона	-	Ls, Lv	Wz w-c
4. Лесотаяжные вулканические и денудационные плато: а) лиственничные леса б) лиственнично-мелколиственные леса и редколесья	1. Сезонная мерзлота 2. Литология 3. Окислительные условия	Преобладание агрессивных фр. гуминовых и фульвокислот Сг.к./Сф.к.<1	a{ Fe(Fe ₂ O ₃)n, Mn f{ Al, Cu, d{ Zn, Pb, Co, Ni	Промывной или замедленно-промывной	Зона метаморфизации и фульвогенеза а) Радиально-латеральная зона б) Радиально-элювиальная зона	Rmv	Ls, Lv	w-c
5. Лесные (средне- и низкогорье) а) кедрово-широколиственные б) лиственнично-мелколиственные в) мелколиственные леса	1. Островная мерзлота 2. Денудация 3. Окислительные условия	Преобладание агрессивных фр. гуминовых кислот Сг.к./Сф.к. >1	a{ Fe Fe(Fe ₂ O ₃)n, Mn, Ca, Mg f{ Al, Cu, Zn, d{ Pb, Co, Ni	Интенсивно промывной	Зона трансаккумуляции и сорбции а) Латеральная зона гуматогенеза б) Латерально-радиальная зона гуматофульвогенеза в) Радиально-латеральная зона сорбции	-	Ls, Lv	w-c
						rRm	Lv	w-c
						r	Lv	w-c

Таблица 2. (Продолжение.).

1	2	3	4	5	6	7	8	9
					Зона транслюво-гуматогенеза	Rm	Ls, Lv	-
6. Лесное редколесье (увалы)						Rm	-	w-c
а) широколиственное редколесье	1. Крутизна и форма склона	Преобладание агрессивных фр. Mg	a{ Fe, Mn, Ca, Mg	Промывной или застойно-промывной	а) Латерально-элювиальная зона			
б) мелколиственное редколесье	2. Мощности рыхлых отложений	гуминовых и фульвокислот Сг.к./Сф.к.<1	f{ Al, Cu, d{ Zn, Pb, Co, Ni		б) Радиальная зона аккумуляции			
					в) Радиальная зона слабого транзита	rRm	Lv	w-c
					Зона выпотной аккумуляции	rRm	-	Wv
7. Лугово-степные равнины						Rv	-	Wv
а) степи влажные	1. Мощности горизонта А1	Преобладание подвижных фр. гуминовых кислот	a{ Fe, Al, (R ₂ O ₃)n Mn, Ca(CaCO ₃)n, Mg	Умеренно промывной или выпотной	а) Радиальная зона интенсивной аккумуляции			
б) степи сухие	2. Выпотной режим	Сг.к./Сф.к.>1	f{ Cu, (NPK) d{ Zn, Pb, Co, Ni		б) Радиальная зона выпотной аккумуляции	rRm	-	w-c
в) лугово-степные равнины					гуматогенеза			
					Зона аквальной аккумуляции			
8. Заболоченные равнины и мари								
	1. Органики >60%	N торфа >0,4м	a{Fe, Mn, P, Cu, Co H ₂ S, H ⁺ f{Al, Zn, Cd	Застойный	а) Радиально-аквальная зона биогенной сорбции (концентрическая)	-	-	wWz
	2. Переувлажнение	Сг.к./Сф.к<1						
					Зона супераквального транзита и аккумуляции	rRm	Lg	Wz
9. Долинно-пойменные лугово-болотные аллювиальные комплексы								
	1. Состав рыхлых отложений	Механический состав почв, грунтовые воды	a{ Fe, Al, Mn, S, H ⁺ f{ Cu, (NPK) d{ Ca, Mg	Промывной и интенсивно промывной	а) Супераквальная зона аккумуляции	Rv	Lg	w-c
	2. Восстановительные условия				б) Супераквальная трансэлювиальная зона			
					Техногенная зона	rRm	-	w-c
10. (Природно-)техногенные сельхозземли техно- и урбанизированные разрабатываемые месторож.								
	Месторождения, техногенез, земли отвода, городские территории	Интенсивность разрушения почвенного покрова	Концентрация ТМ и загрязняющих элементов	Промывной	а) Агрозона			w-c
					б) Урбанизированная и технозона			
					в) Зона воздействия месторождений	Rv	Ls, Lv	w-t

Примечание. *Миграционные потоки: R – радиальные (вертикально направленные – Rv, внутрипочвенные – Rm); L – латеральные (круто-склоновые – Ls, внутрипочвенные – Lv, поверхностные – Lg); W – с застойным водным режимом (выпотные – Wv, застойно-мерзлотные – Wz); r, l, w-c, w-t – нисходящие и восходящие токи малой интенсивности.

**Уровни геохимического фона: a{ – накопление элементов относительно фона; f{ – соответствие фона; d{ – дефицит относительно фона; ТМ – тяжёлые металлы, NPK – натрий, фосфор, калий.

дшафтах органическое вещество почв имеет «плавающее» соотношение агрессивных фракций гуминовых и фульвокислот. При соотношении Сг.к./Сф.к.>1 роль процессов фульвогенеза снижается, преобладающими становятся процессы метаморфизма. Миграционная способность Fe и Mn понижается. Интенсифицируются геохимические потоки вещества на крутых склонах выпукло-вогнутой формы, где возникают триггерные зоны (зоны перекрытия) [11, 16].

В лесных ландшафтах преобладают пологие склоны, подгорные равнины и конусы выноса, где процессы метаморфизма и сиаллитизации способствуют накоплению вторичной глины ($\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3 > 2.5$) и обогащению почв различными формами железа. Геохимическая обстановка определяется процессами гуматогенеза. Миграционная активность элементов Fe^{+3} и Mn^{+2} снижается за счет увеличения мощности профиля почв, способствующей ослаблению процессов химического выветривания в нижней части профиля и активации механизмов сорбции – в верхней части [19, 20, 27].

В луговых и лугово-степных ландшафтах геохимическая обстановка и миграция элементов определяются окислительно-восстановительным потенциалом (Eh) почв и их кислотными свойствами (показатели pH) [19, 22, 25], что обусловлено процессами глеегенеза и аккумуляции. Глеевые процессы способствуют синтезу вторичных минералов типа алюмоферросиликатов, а условия выпотной аккумуляции – коагуляции коллоидных гидроксидов железа и их кристаллизации. В составе почвенных растворов отмечается и миграция комплексных кальциево-магниевого солей.

Заболоченные территории и мари – особая область акумулятивно-биогеогенной аккумуляции соединений двухвалентного железа, марганца, меди. Геохимическая обстановка определяется восстановительными условиями торфяной залежи и характеризуется накоплением закисных форм макроэлементов $\{\text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2}, \text{Cu}^{(+1)+2}, \text{Zn}^{+2}\}$ и сорбцией некоторых микроэлементов $\{\text{Pb}, \text{Co}, \text{Cd}\}$. В условиях избыточного увлажнения микроорганизмы интенсифицируют фракционирование органического вещества, увеличивают подвижность Fe, Mn и Cu. Максимальные концентрации железа в болотных водах отмечаются после засушливого периода.

Долинно-пойменные ландшафты характеризуются аккумулятивными процессами и действием грунтовых вод на нижнюю часть профиля почв при хорошем общем дренаже, что ведет к увлажнению почвы без заболачивания. Окислительные условия повышают активность железа и приводят к образованию его гидратированных форм и железистых конкреций ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Некоторые сидерофильные элементы (Co и Ni), обладающие сродством к железу,

активно вовлекаются в реакции, образуя комплексные соли. Геохимическая обстановка долинно-пойменных ландшафтов характеризуется как зона супераквально-го транзита [6].

В бассейне Амура фрагментарно встречаются и техногенные (природно-техногенные) ландшафты. Горнопромышленное производство цветных металлов, каменного угля, песка и гравия большое влияние оказывает на геохимическую обстановку в зоне отвода земель и на значительных расстояниях вследствие эрозионных процессов, ветрового переноса и других явлений. Нарушение регионального фона территории отмечается и на сельскохозяйственных землях, вдоль населенных пунктов и линейных объектов (железнодорожные пути, автомобильные дороги, трубопроводы).

Для оценки распределения концентраций микроэлементов в почвенном покрове была составлена почвенно-геохимическая матрица (схема в виде изолиний) как вспомогательный элемент для определения специфики геохимических потоков.

Почвенно-геохимическая матрица – интегральная модель распределения химических элементов (C_{ji}) в почвенном пространстве, где вероятностные геохимические процессы описываются функцией координат пространства и времени:

$$C_{ji} = f(x, y, z, t).$$

В любой точке почвенного пространства, в соответствии с законом В.И. Вернадского [3], в том или ином количестве содержатся все химические элементы, и в этом случае справедливо выражение:

$$0 \% < C_{ji} < 100 \%.$$

Пространственная изменчивость концентраций элементов основывается на представлении о геохимических полях или почвенно-геохимических зонах миграции, границы которых функционально согласуются с реакцией среды почв (табл. 3).

Согласно закону термодинамики, источниками формирования геохимических полей в открытых системах являются градиенты (уровни) концентраций элементов, поддерживающие процессы саморегуляции диссипативных потоков (лат. *dissipatio* – рассеяние), направлены в сторону наименьших концентраций, образуя регулярное векторное поле. Соотношение уровней концентрации геохимического поля определяет его напряженность, характеризующуюся на матрице частотой векторов. Уровни концентраций элементов в почвах оценивали по коэффициентам их концентрации (K_j) в слое 0–30 относительно породы. Выделено 3 типа уровней концентраций элементов:

- а – уровни накопления элементов ($K_j > 1.1$);
- f – уровни соответствия концентраций элементов ($0.7 < K_j < 1.1$);

Таблица 3. Подвижность химических макро- и микроэлементов в почвах с различной реакцией среды.

Типы почв (в зависимости от реакции среды)*	Степень подвижности элементов		
	Практически неподвижны	Слабоподвижны	Подвижны
Сильно кислые, pH < 3.5–4.0	Нет данных	Pb ⁺² , Ni ²⁻³ , Co ²⁻³	Fe ²⁻³ , Mn ²⁻⁵ , Al ⁺³ , Cu, Zn, Cd
Кислые и слабо кислые pH 4.0–6.5	Нет данных	Pb ²⁻⁴ , Ni ² , Co ²⁻³ , Zn	Fe ²⁻³ , Mn ² , Al ³
Нейтральные и слабо-щелочные, pH 6.5–8.0	Pb	Al ⁺³ , Cu ⁺¹ , Cd, Ni ²⁻³ Co ²⁻³	Fe ²⁻³ , Mn ²⁻⁵ , Zn, Cu ¹⁻²
Щелочные и сильно-щелочные, pH > 8.0	Pb, Co, Ni, Cd	Fe ⁺³ , Mn ²⁻⁵ , Zn, Cu ¹⁻² , Cd	Ca, Mg, Cu, Fe ⁺² , As Al ⁺³ (амфотерность гидроксида)

Примечание. * – таблица составлена на основании химических свойств металлов и экологии почв [19].

– d – уровни дефицита элементов ($K_j < 0.7$).

Уровни концентраций элементов в фоновых почвах (состояние рассеяния или концентрации) функционально согласуются с почвенно-геохимическими потоками, которые определяются условиями миграции и геохимическими процессами в почвах. Для любого химического элемента термодинамически выгодно состояние рассеяния (соответствие фону).

Регулярное векторное поле сопряжено с экологическими условиями и позволяет представить распределение концентраций элементов в почвенном пространстве. Нарушение условий регулярности векторного поля (перепад температур, окислительно-восстановительных условий и др.) приводит к изменению напряженности поля и возникновению новых элементарных геохимических зон миграции элементов. Таким образом, модель почвенно-геохимической матрицы отражает не только распределение химических элементов в пространстве в состоянии рассеяния, но и механизмы формирования геохимических полей (зон миграции).

При построении модели почвенно-геохимической матрицы соблюдались условия: а) уровни регионального геохимического фона контролируются содержанием элементов в породе; б) средние значения концентраций элементов в фоновых почвах не превышают их содержание в породе; в) нарушение границ варибельности элементного состава в фоновых почвах приводит к изменению фона в пределах их ареала и возникновению новых почвенно-геохимических зон миграции; г) состояние вынужденной концентрации элементов контролируется условиями триггерных режимов зон перекрытия.

Механизмы функциональных связей компонентов в геохимическом цикле ландшафтов показаны на рис. 2. На картографических моделях почвенно-геохимическая матрица отображается в виде изолиний распределения концентраций макро- и микроэлементов в

фоновых почвах. Исследования авторов и литературные данные [1, 5, 6, 15, 17, 21–25] по содержанию микроэлементов в почвах бассейна Амура и сопредельных территорий позволили проанализировать территорию с позиции геохимической матрицы. Выявлены элементы-индикаторы: сидерофильные (Fe, Mn, Cd, Co, Ni) и халькофильные (Cu, Zn, Pb). Средние значения концентраций элементов-индикаторов в контрольных разрезах фоновых почв показаны в табл. 4.

Почвенно-геохимическая матрица является вспомогательным элементом для выделения почвенно-геохимических зон миграции. В пределах типа ландшафта все почвенно-геохимические зоны миграции сопряжены геохимическими потоками. Важным аспектом эколого-геохимического анализа территории является выявление механизмов формирования почвенно-геохимических потоков.

Механизмы формирования почвенно-геохимических потоков обусловлены физическим состоянием твердой, жидкой и биогенной фаз почв. Большую роль играют процессы синтеза и распада органического вещества, образование тонкодисперсных фракций и растворимых фракций гумусовых кислот. Геохимические процессы в почвах проявляются в 3-х направлениях: 1) взаимное молекулярное притяжение тонких фракций размером менее 2–3 мкм, что приводит к их коагуляции и агрегации в частицах < 1 мкм (эффект сорбции); 2) молекулярное поглощение влаги тонкими фракциями твердой и органической фаз почв, способствующее набуханию почвы (эффект поглощения воды); 3) молекулярное взаимодействие между фазами почв и гравитационной влагой, обеспечивающее растворение и вынос продуктов выветривания.

Интенсивное поступление влаги в почву заполняет поровое пространство, образуя почвенные растворы элементов и их соединений. Под действием сил гравитации почвенные растворы мигрируют по

Ландшафтно-геохимическая матрица сопряженности ландшафтов

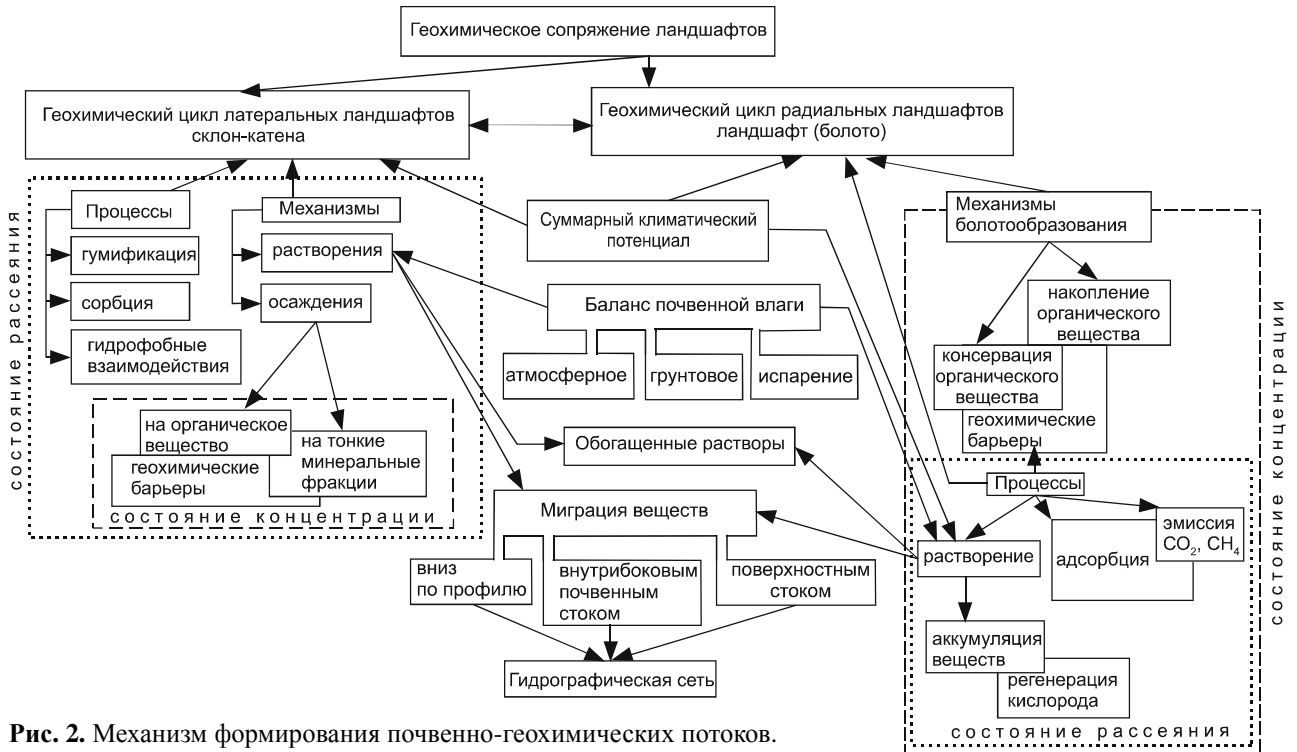


Рис. 2. Механизм формирования почвенно-геохимических потоков.

Таблица 4. Средние значения некоторых элементов-индикаторов в фоновых почвах различных типов ландшафтно-миграционных структур (русская часть бассейна Амура).

Основные типы ландшафтов	Фоновые почвы		Элементы-индикаторы в фоновых почвах (валовое содержание)**									
			в %			в мг/кг						
	Типы	*C _{орг} %	Fe _{вал}	Fe ⁺³	Fe ⁺²	Mn	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Cd
Тундровые	Г _{ор} Т _н	1.1–2.0	5.0–6.3	-	-	370	13.0	25.0	6.1	26.0	7.7	0.32
Лесотундровые	Г _{ощ} , ПБ _{ст}	1.6–2.0	5.0–6.1	>3.5	1.6	490	11.0	-	9.0	-	-	-
Таежные	ПБ, По _{иг}	4.5–5.0	4.9–6.0	>3.5	<2	787	12.0	17.0	2.0	19.0	6.2	1.4
Лесотаежные	Бр _{иг} , Бр _{гр}	4.0–4.8	4.2–5.0	3.0–4.0	<1	520	11.0	32.0	0.9	2.0	-	0.9
Лесные (широкол.)	Бр _{слн} , Бр _к	4.4–5.0	4.6–5.0	3.0–4.0	<1	490	11.0	28.0	5.0	1.6	2.0	0.2
Лесное редколесье	Бр _{сл,ор}	2.8–3.6	3.8–4.0	>2.5	<1	620	10.0	19.0	8.2	-	1.0	-
Болотные мари	БП ЛГ _{гл}											
Болотные мари	ТБ, тБ,	11.0–26.0	5.0–6.0	1.0–2.0	3–4	790	18.0	5.0	4.0	4.4	1.1	0.4
Лугово-степные	ЛЧ, ЛГ	4.6–6.0	4.19	-	-	586	9.0	-	-	0.4	-	-
Долинно-пойменные	Лга, А	1.0–2.6	2.65	1.0–2.0	1.1	490	4.0	3.0	1.1	0.1	0.8	0.1
Техногенные	Агр, Нн	1.8–2.0	> 6.0	-	-	865	70.0	116.0	16.0	17.0	31.0	>35
Кларк литосферы			4.65	-	-	1000	47.0	85.0	16.0	58.0	18.0	340

Примечание. *Сорг. определено по методу И.Ю. Тюрина в верхних горизонтах почв (аналитик С.И. Левшина).

** – валовые содержания элементов-индикаторов – на спектрокане № 835 (Lif 200) (аналитик А.Г. Жуков). В соответствии с системой ФАО ЮНЕСКО [26] использованы сокращения: Г_{ор}Т_н – горно-тундровые; Г_{ощ} – горные органо-генно-щебнистые; ПБ_{ст} – подбуры сухо-торфянистые; ПБ – подбуры; По_{иг} – подзолистые иллювиально-гумусовые; Бр_{иг} – буроземы иллювиально-гумусовые; Бр_{гр} – буроземы грубо гумусовые; Бр_{слн} – буроземы слабо-ненасыщенные; Бр_к – бурозем кислые; Бр_{сл,ор} – буроземы слабо ненасыщенные оглеенные; БП – подзолисто-буроземные; ЛЧ – лугово-черноземовидные; ЛГ_{гл} – лугово-глеевые; ЛГ – луговые; ТБ – торфяные болотные; тБ – торфянисто-болотные; Лга – луговые аллювиальные; А – аллювиальные; Агр.– агроземы; Нн – техногенные.

поровому пространству, формируя почвенно-геохимические потоки. Скорость растворения веществ и прохождения почвенно-геохимических потоков в годовом цикле различных почв зависит от гидротермических условий, строения порового пространства [18]. Переувлажнение почв способствует взаимодействию поливалентных металлов (Fe, Al, Cu, Zn, Ni) с реакционно-способными гуминовыми кислотами и, в определенных условиях, приводит к образованию комплексных органо-минеральных соединений.

В микропорах почв при воздействии агрессивных фракций гумусовых кислот и почвенных микроорганизмов происходит образование комплексных катионов $[\text{FeHSO}_4]^+$, $[\text{FeHSO}_4]^{2+}$, $[\text{CuHSO}_4]^+$ и протонов $[\text{H}^+]$. Увеличение кислотности в растворе до значений $\text{pH} < 3.5$ способствует диссоциации комплексных солей и стабилизации высокозарядных катионов в растворе ($\text{Fe}^{2+(3+)}$, Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+}) [8, 27, 29]. В присутствии свободного кислорода окислительные свойства марганца оказывают влияние на диссоциацию соединений кобальта в почвенном растворе с образованием Co^{2+} – Co^{3+} . Эти образования характерны для условий гипергенеза бассейна Амура.

Концентрации элементов в почвах различных ландшафтов коррелируют с содержанием органического вещества и гранулометрическим составом. Средние их значения по отношению к почвообразующей породе характеризуют геохимическое состояние фона. Дисперсия (отклонение от средних значений) – показатель потенциальной миграционной активности элементов. В таблице 5 показаны ряды миграционной активности элементов, характеризующие типы миграционных потоков [23].

Классификация миграционных потоков. В почвах бассейна Амура выделено 4 типа миграционных потоков (табл. 2):

- 1) R – радиальные (Rv – нисходящие и Rm – восходящие);
- 2) L – латеральные (Ls – нисходящие на склонах, Lv – боковые и Lg – поверхностные);
- 3) W – аквальные (с застойным водным режимом) (Wv – выпотные или аккумулятивно-выпотные и Wz – застойно-мерзлотные);
- 4) T – техногенные (Tr – техногенно рекреационные и Tt – природно-техногенные) [27].

Состояние рассеяния элементов характеризуется восходящими и нисходящими потоками почвенных растворов малой интенсивности (r, l, w-c, w-t).

Радиальные миграционные потоки (R) направлены вертикально вниз по профилю почв и осуществляют внутрпочвенный обмен вещества. Зонами их миграции являются территории плато, плоских вер-

шин и приподнятых равнин с промывным водным режимом почв.

Для латеральных миграционных потоков (L) характерен внутрибоковой почвенный обмен. К зонам миграции латеральных потоков относятся склоны горных хребтов и массивов.

Радиальные и латеральные почвенно-геохимические потоки характеризуются различными рядами активности элементов, что согласуется с составом органического вещества в почвах. Агрессивные фракции фульвокислот, синтезируемые в таежной зоне, способны к ионному обмену. Комплексообразованию способствуют гуминовые кислоты, наиболее характерные для лесной зоны.

Акватоки (W) формируются на равнинных территориях с застойным водным режимом (на болотах, заболоченных лугах). Они возникают при выпадении большого количества атмосферных осадков в летний период (>300 мм). При резком подъеме уровня воды на заболоченных территориях, акватоки (W) перекрывают латеральные (L) и двигаются в направлении к повышенным элементам рельефа, перемещая большое количество растворенных и взвешенных веществ.

Лугово-степные территории с преобладанием выпотных процессов передвижения солей в составе почвенных растворов локальны, в бассейне Амура занимают < 0.5 % площади и детально не анализировались.

Техногенные миграционные потоки (T) связаны с разработкой месторождений [6, 8]. Отвалы вскрышных пород и другие отходы технологий горно-обогатительных предприятий являются источниками загрязнения почв тяжелыми металлами. Сульфидсодержащие минералы измельченной горной породы, соприкасаясь с атмосферным воздухом, окисляются по схеме:

$$2\text{FeS}_2 \text{ (пирит)} + 2\text{H}_2\text{O} + 7\text{O}_2 = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4,$$

образуя неустойчивые сульфаты железа [14]. Продукты распада минералов и тонкодисперсные недоокисленные минеральные вещества выносятся дождевой водой вниз по склону, образуя техногенные миграционные потоки (T).

Содержание тяжелых металлов (элементов-индикаторов) в почвах вокруг каждого предприятия повышено. Эта территория является зоной техногенного влияния разрабатываемых месторождений на почвы. Радиус влияния определяется природными условиями и составляет от 200 до 800 м.

Техногенные потоки накладываются на латеральные склоновые потоки и образуют зоны перекрытия, триггерные режимы которых определяются крутизной и формой склонов.

Влияние мегаполисов и мелиорации на геохимические процессы в почвах незначительно.

Миграционные потоки этих территорий можно отнести к природно-техногенным, в бассейне Амура они занимают площадь < 1 %.

Выделенные типы миграционных потоков согласуются с геохимическими процессами в почвах. В табл. 2 показаны особенности геохимического фона почв, характеризующиеся определенным составом элементов. Соотношение элементов обусловлено уровнями геохимической активности (a–f–d), определяемыми степенью отклонения их концентраций от средних значений фона. Соотношение уровней активности элементов характеризует ряды их геохимической активности (табл. 5).

В природе все элементы находятся в виде соединений. Преобладающие формы химических соединений в почвах специфичны и определяются геохимической активностью элемента. Различают геохимическую и миграционную активность элементов.

Геохимическая активность элемента – это его способность проявлять те или иные химические свойства в почвенных растворах [19].

Миграционная активность элемента в почвах – это проявление химических свойств, способствующих образованию его растворимых форм при увлажнении, способных к миграции в составе почвенных растворов. Миграционную активность элемента можно характеризовать коэффициентом активности (отношение концентраций элемента растворенных форм в почвенном растворе к его общей концентрации в составе твердой фазы почвы) [24]:

$$\gamma = \frac{a}{c}.$$

Коэффициент активности был использован для определения границ последовательности миграционной активности элементов в фоновых почвах для каждого уровня их активности (a–f–d). Такой подход позволил в границах почвенно-геохимической матрицы выделить зоны активной почвенно-геохимической миграции и соответствующие им ландшафтно-геохимические потоки (табл. 5).

Ландшафтно-геохимическое районирование. При составлении карты ландшафтно-геохимического районирования использовали матрицу как вспомогательный материал дифференциации геохимических потоков и принципы ландшафтно-геохимического картографирования А.Г. Исаченко [9] и Н.С. Касимова [10], считавших главным фактором геохимической дифференциации территории геологические структуры. Были использованы и принципы картографирования, заимствованные у [28]. Анализ геохимических процессов в зоне гипергенеза и условий миграции элементов в почвах позволил в

границах их варибельности относительно средних значений общего регионального фона построить ряды миграционной активности элементов и соответствующие зоны миграции (табл. 5). Почвенно-геохимические зоны миграции, характеризующие пространственную неоднородность концентраций химических элементов в фоновых почвах, были использованы в качестве единицы картографирования (рис. 3).

Предлагаемая картографическая модель ландшафтно-геохимического районирования отражает не только территориальные различия в ландшафтных системах, но и их геохимическое взаимодействие. Пространственная неоднородность концентраций химических элементов в фоновых почвах обусловлена направленностью геохимических потоков, описанных выше.

Геоиндикация и точность выделения геохимических зон миграции зависит от контрастности фоновых характеристик почвообразующей породы. Вспомогательным элементом при построении геоиндикации почв (линий, соединяющих точки одинаковых концентраций элементов на карте) являлась почвенно-геохимическая матрица на ключевых участках фоновых почв. Почвенно-геохимические зоны миграции сопряжены геохимическими потоками в ландшафтно-геохимические структуры [16]. При выделении ландшафтно-геохимических структур использовали также и классическую схему однонаправленности потоков вещества из автономных ландшафтов приводораздельных пространств к подчиненным ландшафтам равнинных территорий [20].

На карте ландшафтно-геохимического районирования (рис. 3) отражена пространственная дифференциация почвенно-геохимических зон миграции элементов, сопряженных с основными ландшафтно-геохимическими потоками, характеризующимися определенными рядами миграционной активности. Выделена 21 зона почвенно-геохимической миграции элементов в почвах (табл. 5). Частота их встречаемости в различных ландшафтах неоднозначна, она отражает разнообразие форм миграции элементов и экологические условия территории. (табл. 2, 4 и 5).

Таким образом, анализ имеющегося материала с позиций современных геохимических концепций поведения элементов в фоновых почвах основных типов ландшафтов как динамически сопряженных геохимических полей в пространстве позволил создать плоскую модель «Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна р. Амур» и в программной среде ArcGis 10 (ArcMap) составить соответствующий ей макет карты в М 1:2 500 000.

Таблица 5. Классификация ландшафтно-геохимических структур бассейна Амура.

N п/п	Ландшафтно- геохимические потоки	Почвенно-геохимические зоны миграции	Ряды миграционной активности	Ареалы на карте*	
				N _к	S _{общ}
1	Лесотундровые и тундровые криопотоки	Автоморфная зона криогурбации	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Ni	1	2 4.93
		Автоморфная зона криогурбации и литогенеза	Fe ³⁺ >Mn>Al ³⁺ >Cu>Pb>Zn>Co>Cd>Ni	2	8 18.74
2	Тажные ферсальитные	Латерально-трансэлювиальная зона	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Pb>Co>Cd>Ni	3	15 75.26
		Латерально-трансаккумулятивная зона	Fe ³⁺ >Mn>Al ³⁺ >Cu>Pb>Zn>Co>Ni>Cd	4	6 35.35
3	Лесотаежные денудационные	Радиально-латеральная зона	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Pb>Cu>Zn>Co>Ni	5	23 132.85
		Радиально-элювиальная зона	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Pb>Zn	6	32 152.56
4	Лесные трансаккумулятивные	Латерально-радиальная зона гуматогенеза	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Zn>Cd>Ni	7	19 41.32
		Латерально-радиальная зона гуматофульвогенеза	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Co>Cd>Ni	8	15 61.70
		Радиально-латеральная зона сорбции	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Zn>Co>Ni	9	23 76.49
5	Лесные трансэлювиальные	Латерально-элювиальная зона	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Ca>Mn>Cu>Co>Cd>Ni	10	15 61.31
		Радиальная зона аккумуляции	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Ca>Cu>Zn>Cd>Ni	11	17 41.58
		Радиальная зона слабого транзита	Fe ³⁺ >Mn>Al ³⁺ >Cu>Zn>Pb>Co>Cd>Ni	12	21 42.15
6	Луговые аккумулятивные	Радиальная зона интенсивной аккумуляции	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Ca>Cu>Pb>Co>Ni	13	10 28.54
7	Лугово-степные выпотные	Радиальная зона выпотной аккумуляции	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Ca>Na>Cu>Pb>Co>Ni	14	5 8.63
		Радиальная зона гуматогенеза	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Ca>Cu>Pb>Co>Cd>Ni	15	7 50.12
8	Болотно-аквальные	Радиально-аквальная зона биогенной сорбции	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Ca>Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Ni	16	18 66.25
9	Долинные транзитно- аккумулятивные	Супераквальная зона аккумуляции	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Cd>Ni	17	25 58.68
		Супераквальная трансэлювиальная зона	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Ca>Cu>Zn>Pb>Co>Cd	18	23 53.63
10	Агрогенные	Агрозона	NPК; Fe ³⁺ >Mn>Al ³⁺ >Cu>Pb>Zn>	19	3 2.01
11	Техногенные	Урбанизированная технозона	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>Cu>Zn>Pb>Co>Cd>Ni	20	4 5.66
		Зона воздействия месторождений	Fe ³⁺ >Al ³⁺ >Mn>S>Cu>Zn>Pb>Co>Cd>Ni	21	6 0.11

Примечание. *Ареалы на карте: N_к – структурный индекс в легенде карты; Kk – общее количество контуров на карте, S_{общ} – общая площадь (тыс. км²).

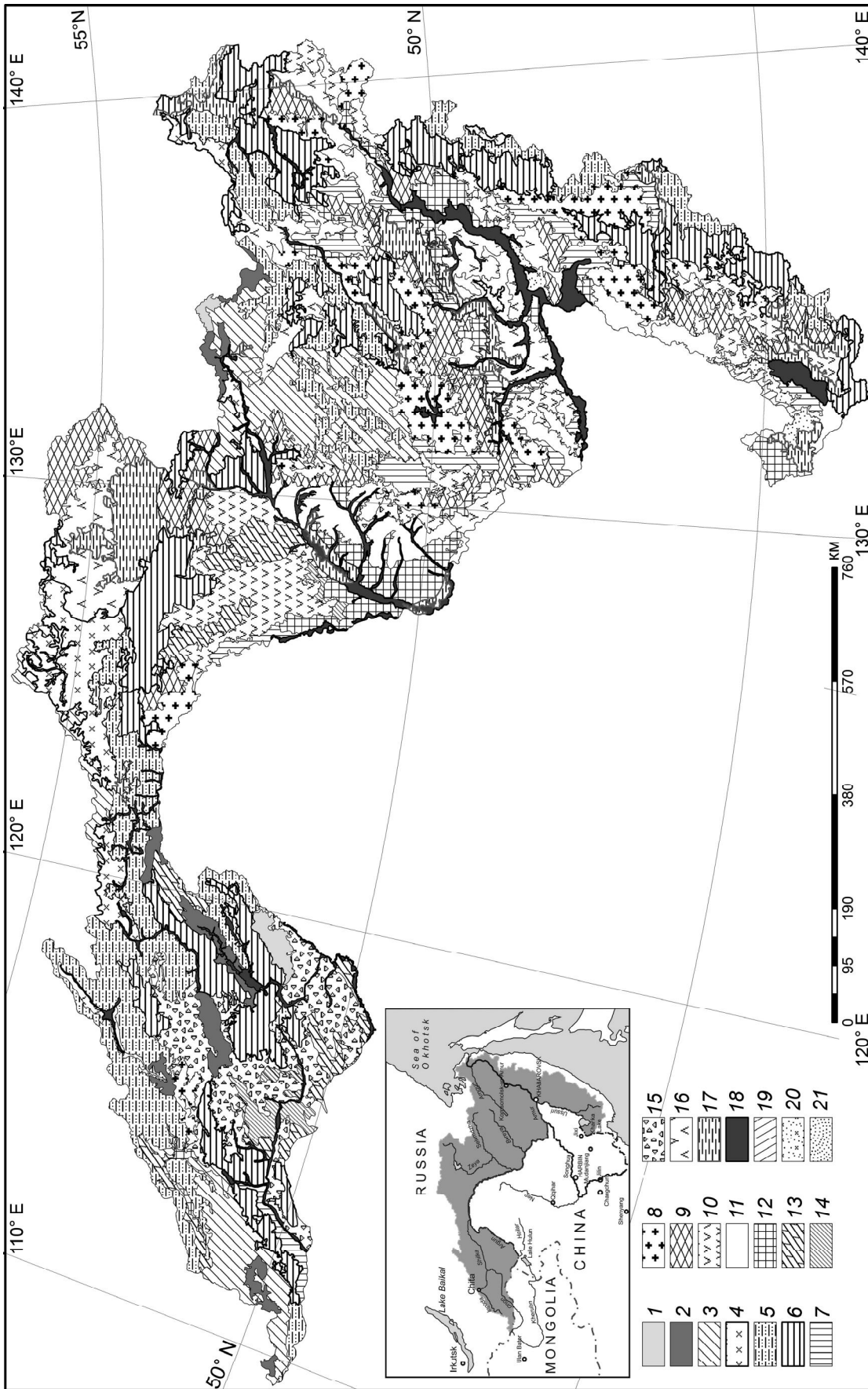


Рис. 3. Карта ландшафтно-геохимического районирования.

Почвенно-геохимические зоны миграции: 1 – автоморфная зона криотурбации, 2 – автоморфная зона криотурбации и литогенеза, 3 – латерально-трансэлювиальная зона, 4 – латерально-трансаккумулятивная зона, 5 – радиально-латеральная зона, 6 – радиально-латеральная зона, 7 – радиально-латеральная зона гуматогенеза, 8 – латерально-латеральная зона гуматогенеза, 9 – радиально-латеральная зона сорбции, 10 – латерально-латеральная зона сорбции, 11 – радиально-латеральная зона сорбции, 12 – радиально-латеральная зона слабого транзита, 13 – радиальная зона интенсивной аккумуляции, 14 – радиальная зона выпотной аккумуляции, 15 – радиальная зона гуматогенеза, 16 – радиально-аккумулятивная зона биогенной сорбции, 17 – супераккумулятивная зона аккумуляции, 18 – супераккумулятивная зона аккумуляции, 19 – агрозона, 20 – урбанизированная технозона 21 – зона воздействия месторождений.

ВЫВОДЫ

Неоднородность распределения элементного состава в ландшафтах бассейна Амура проявляет определенные закономерности: 1) в фоновых почвах бассейна Амура преобладают элементы группы железа, характеризующиеся высокой растворимостью в органических кислотах и миграционной активностью в составе органо-минеральных комплексов, 2) в современных природных условиях геохимический фон почвенного покрова бассейна Амура представляет собой сложную динамическую систему взаимообусловленных процессов дезинтеграции горных пород, денудации и внутрисочвенного стока, 3) различная интенсивность этих процессов определяет ландшафтно-геохимические потоки, 4) механизмы почвообразования обуславливают различную интенсивность проявления геохимических процессов в пространстве и формирование различных почвенно-геохимических зон миграции, 5) высокие концентрации железа и марганца связывают агрессивные фракции органических кислот, выполняя роль разгрузки, создают буферные зоны и способствуют снижению уровня подвижности некоторых элементов (Cu, Zn, Pb) в почвенных растворах или их осаждению.

В результате проведенного анализа распределения элементов в почвенном пространстве и функций ландшафтно-геохимического сопряжения установлено, что миграционная активность элементов является косвенным показателем состояния геохимического потока. Почвенно-геохимические потоки различаются по составу элементов, соответствующих уровням их активности. Уровни активности определяются степенью отклонения концентраций элементов от их средних значений фона. Определенное соотношение уровней активности элементов характеризует ареалы фоновых почв, сопряженных миграционными потоками.

Для регионального фона бассейна Амура выделено три типа миграционных потоков, характеризующихся: а) постоянством средних значений концентраций элементов, б) определенной частотой встречаемости почвенно-геохимических зон миграции и разнообразием ландшафтно-геохимических потоков; в) рядами миграционной активности элементов, соответствующих почвенно-геохимическим зонам миграции, г) составом элементов, определяющих типы геохимических потоков. Каждый тип миграционного потока характеризуется определенной неоднородностью регионального фона.

Установлено, что формирование латерально-радиальных структур возможно лишь в векторном геохимическом поле с триггерными режимами (зонами перекрытия геохимических полей). Триггерная зона

на местности артіогі характеризуется превышением содержания фоновых элементов в почвенном слое 0–30 см более чем в 1.2 раза по отношению к общему фону территории. Критический уровень триггерного режима в геохимическом поле (мощность почвенного профиля > 120 см с высоким содержанием тонких минеральных или органических фракций и наличием окислительно-восстановительных условий) приводит к возникновению геохимических барьеров. Дана геохимическая характеристика регионального фона почвенного покрова бассейна Амура как единой системы сопряженных почвенно-геохимических потоков. Показано, что региональный геохимический фон ландшафтов можно характеризовать рядами активности элементов фоновых почв.

Построена классификация ландшафтно-геохимических структур. В программной среде ArcGis 10 (ArcMap) составлена карта «Ландшафтно-геохимического районирования бассейна р. Амур» М 1:2 500 000.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов МНТЦ № 4008 и РФФИ – ДВО РАН № 11-05-98562-р_восток_а.

Авторы благодарят проф. географ. ф-та МГУ М.И. Герасимову и проф. хим. ф-та МГУ И.В. Перминову за ценные советы при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов Г.И. Эволюция формирования и закономерности размещения железных руд северо-востока Азии. Владивосток: Дальнаука, 2003. 162 с.
2. Бельчикова Н.П. Определение гумуса почв по методу И.В. Тюрина // Агрехимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. С. 56–62.
3. Вернадский В.И. Химическое строение Земли и ее окружения. М.: Наука, 1965. 302 с.
4. Верховская Л.А., Сорокина Е.П. Математическое моделирование геохимического поля в поисковых целях. М.: Недра, 1981. 186 с.
5. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
6. Глазовская М.А. Геохимические ландшафты мира: концепция и принципы картографирования // Изв. РАН. Сер. геогр. 1989. № 5. С. 25–33.
7. Глазовская М.А., Касимов Н.С., Перельман А.И. Основные понятия геохимии ландшафтов, существенные для фонового мониторинга // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. С. 8–25.
8. Зверева В.П. Современные аспекты гипергенеза в геоэкологии (на примере горнорудной промышленности Дальнего Востока) // Горн. информ.-аналит. бюлл. 2007. № ОВ15. С. 230–240.
9. Исаченко А.Г. Основы ландшафтоведения и физико-географического районирования. М., 1965. 365 с.
10. Касимов Н.С., Гаврилова И.П., Герасимова М.И., Богдано-

- ва М.Д. Новая ландшафтно-геохимическая карта России // Вестн. МГУ. Сер. 5. Геогр. 2009. № 1. С. 30–44.
11. Кулаков В.В., Кондрагьева Л.М., Голубева Е.М. Геологические и биогеохимические предпосылки повышенного содержания железа и марганца в воде р. Амур // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 66–76.
 12. Махинов А.Н. Формирование склонов со смещающимися базами денудации. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 124 с.
 13. Махинов А.Н., Махинова А.Ф. Преобразование антропогенного рельефа в районах разработок россыпных месторождений (север Хабаровского края) // Геоморфология. 2006. № 2. С. 43–49.
 14. Махинов А.Н., Махинова А.Ф., Шевцов М.Н. Влияние отходов горно-обогатительных предприятий Хабаровского края на окружающую среду // Горн. журн. 2006. № 4. С. 83–86.
 15. Махинова А.Ф. Почвенный покров Нижнего Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1989. 144 с.
 16. Махинова А.Ф., Махинов А.Н., Ермошин В.В. Основные геохимические потоки в ландшафтах бассейна р. Амур (в пределах российской территории) // Геохимия ландшафтов и география почв: Докл. Всерос. научн. конф. (к 100-летию М.А. Глазовской). М., 2012. С. 215–218.
 17. Никольская В.В. Морфоскульптура бассейна Амура. М.: Наука, 1972. 295 с.
 18. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет // Метеорология и гидрология. 2007. № 2. С. 43–53.
 19. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высш. шк., 2005. 558 с.
 20. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 768 с.
 21. Попкова М.И., Кайдалова Е.Ф., Климовская Т.В., Саврасов Н.П. Сборник химических анализов изверженных горных пород южной части Дальнего Востока. Хабаровск, 1961. 700 с.
 22. Росликова В.И. Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1966. 291 с.
 23. Сорокина Е.П., Дмитриева Н.К., Карпов Л.К., Масленников В.В. Анализ регионального геохимического фона как основа эколого-геохимического картирования равнинных территорий (на примере северной части Западно-Сибирского региона) // Прикл. геохимия. М.: Изд-во ИМГРЭ, 2001. Вып. 2. С. 316–338.
 24. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв // Почвоведение. 2003. № 3. С. 328–341.
 25. Труфанов А.И. О миграции железа и марганца в зоне гипергенеза юга Дальнего Востока // Природные воды Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск: ХабКНИИ, 1975. Сб. 15. С. 147–154.
 26. FAO. 1990a. FAO-UNESCO Soil Map of the World - Revised Legend.
 27. Makhinova A.F., Makhinov A.N. Differentiation of organic matter and major geochemical flows in the Amur Basin landscapes // Functions of natural organic matter in changing environment: Proc. 16-th Intern. Humic Substances. Sept. 9–14, 2012. Springer, 2012. P. 361–363.
 28. Mapping of soil and terrain vulnerability to specified chemical compounds in Europe at a scale of 1:5M / Eds. N.H. Batjes, E.M. Bridges. Wageningen, ISRIC. 1991.
 29. Senesi N., Loffredo E. Metal iron complexation by soil humic substance // Chemical Processes in Soils. Madison: Soil Sci. Soc. Amer. 2005. P. 563–617.

Рекомендована к печати Б.А. Вороновым

A.F. Makhinova, A.N. Makhinov, V.A. Kuptsova, Liu Shuguang, V.V. Ermoshin

Landscape-geochemical zoning of the Amur River basin (Russian Territory)

The landscape-geochemical characteristics of the Russian part of the Amur Basin under study are presented. The degree of correlation of geographic factors with mechanisms of the formation of soil geochemical systems is described. Spatial heterogeneity of concentrations of chemical elements in the background soils is viewed as a function of migration activity of elements of the iron group in the organo-mineral complexes. Importance of elements of the iron group is revealed in forming regional geochemical pattern. The conditions of substance migration are revealed. The formation of conjugated landscape-geochemical structures is briefly reviewed. New approaches and principles of landscape-geochemical zonation are proposed. The described aspects were applied to create the map “Landscape-Geochemical Zoning of the Amur Basin” (1:2 500 000). The map reflects landscape-geochemical structures, which determine conditions of substance migration and spatial heterogeneity of chemical element concentrations in the background soils.

Key words: the Amur River basin, soils, soil geochemical fluxes, migration zone, landscape-geochemical zonation.