

## ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭКОСИСТЕМ КАВКАЗСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

И.А.Авессаломова, Е.Д.Брагин

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва;  
Кавказский государственный биосферный заповедник  
Госкомприроды СССР, Сочи

Изучение резерватов природы, в первую очередь биосферных заповедников, включает исследование особенностей существования и функционирования экосистем с позиции геохимии ландшафта. Такой подход, опирающийся на изучение потоков вещества и их трансформации в ландшафтах, позволяет установить сущность материальных взаимосвязей между их абиотическими и биотическими компонентами, в том числе и в условиях прогрессирующего антропогенного воздействия, и занимает важное место при разработке теоретических основ мониторинга природной среды. Это предполагает поиск критериев, определяющих ее современное состояние. При их разработке встают вопросы, связанные с выбором геохимических эталонов и установлением фоновых параметров, отражающих основные свойства ландшафтов в естественных условиях. Получение таких характеристик (количественных и качественных) необходимо для фиксации временных изменений при организации систематических наблюдений на биосферных станциях (фоновый мониторинг), а также для сравнения естественных и техногенно-измененных ландшафтов

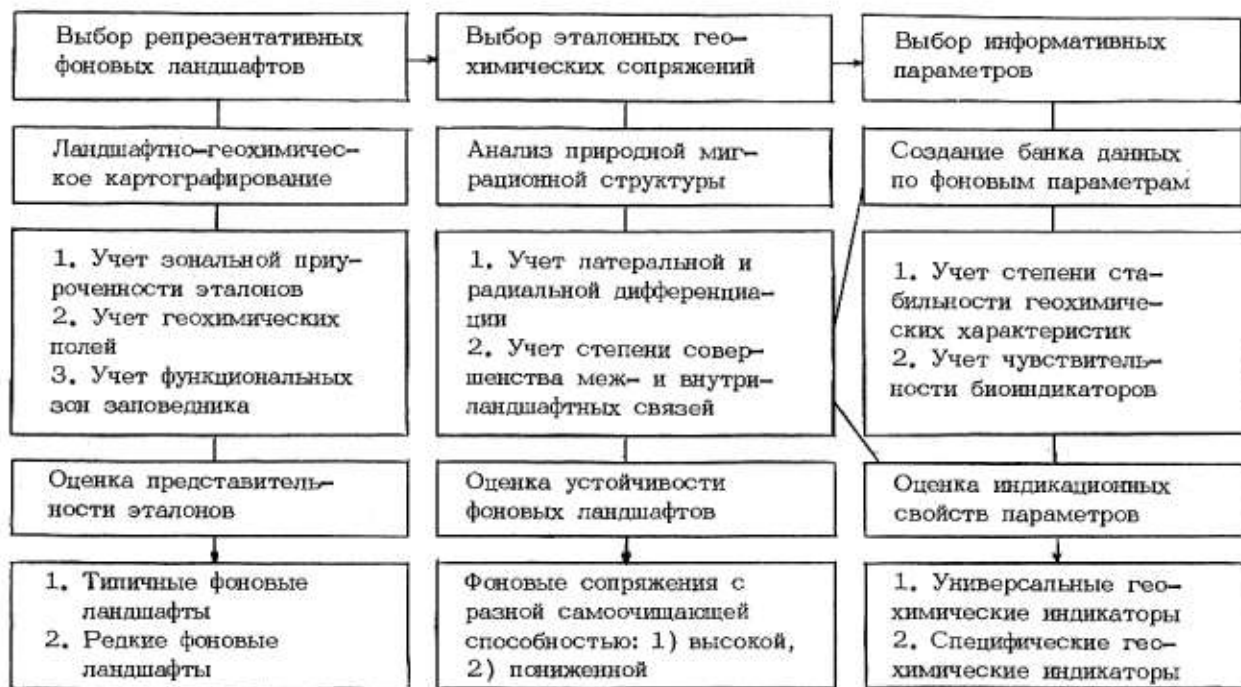


Рис. 1. Схема выбора эталонов для геохимического мониторинга

(импактный мониторинг). При определении набора рекомендуемых показателей встает три группы задач, последовательность решения которых отражает методологию поиска геохимических эталонов (рис. 1).

Первая из них — выбор эталонных фоновых ландшафтов, оценка их типичности и репрезентативности.

Кавказский государственный биосферный заповедник чрезвычайно разнообразен в ландшафтном отношении. По схеме физико-географического районирования Кавказа /3/ его территория входит в состав области Большого Кавказа и отнесена к двум разным провинциям (Западной высокогорной и Колхидской горной), которые отличаются особенностями геологической истории и палеогеографического развития, сложностью структурно-тектонического строения, многообразием пород разного литологического состава, различной металлогенной, геоморфологическими и гидроклиматическими особенностями, пестротой биоценозов и различным спектром высотных зон. Это свидетельствует о неоднородности и региональных различиях его ландшафтной структуры и определяет необходимость дифференцированного подхода при установлении фоновых геохимических параметров. Анализ мелкомасштабных ландшафтных карт позволил провести общую оценку ландшафтно-геохимических особенностей заповедной территории и наметить конкретные участки детальных исследований. Они были заложены в пределах Главного экологического профиля, который проходит вкосте простирания высотных и структурно-тектонических зон (от хостинской Тисо-самшитовой роши до пос. Псебай) и пересекает основные типы ландшафтов, характерные для Северо-Западного Кавказа. Для выявления влияния антропогенной нагрузки на экосистемы региона по линии этого профиля было выделено шесть функциональных зон, различающихся по интенсивности хозяйственного использования. Эти зоны последовательно сменяют друг друга при приближении к ядру Кавказского биосферного заповедника и показывают специфику техногенного пресса на примыкающих к нему территориях. На Южном макросклоне выражены: зона повышенной рекреационной нагрузки (пос. Хоста, прибрежная часть курорта Сочи), зона интенсивной сельскохозяйственной деятельности, зона ограниченного хозяйственного использования (охранная и буферная зоны заповедника) и зона покоя (ядро заповедника); на северном макросклоне к зоне покоя примыкают зоны ограниченной хозяйственной и интенсивной сельскохозяйственной деятельности (низкогорья, предгорья до пос. Псебай). На Южном макросклоне Большого Кавказа были изучены низкогорные ландшафты широколиственных и вечнозеленых колхидских лесов, формирующиеся в приморской полосе в пределах предгорий и низкогорий, сложенных меловыми известняками и терригенными отложениями палеогена (эталон — Тисо-самшитовая роша), а также горно-лесные и горно-луговые ландшафты среднегорий и высокогорий, выполненных сложным комплексом вулканогенно-терригенных и кар-

бонатных осадков юры (эталон Лаура и Бзерпия). На северном макросклоне – ландшафты горно-луговой и горно-лесной зон в бассейне р. Уруштен, где для их литогенной основы наряду с терригенными образованиями триаса и юры характерно появление докембрийских метаморфических пород (эталон Бурьянистая поляна и Черноречье).

Основным методом явился сопряженный анализ, предполагающий сопоставление геохимических характеристик по отдельным компонентам ландшафтов и анализ геохимических сопряжений. На каждом из выбранных эталонов была заложена серия ландшафтно-геохимических профилей, включающих природные комплексы, различающиеся по характеру "прихода-расхода" вещества и степени геохимического подчинения. В разных видах элементарных ландшафтов (фаций), входящих в геохимические сопряжения, проведено опробование почв и почвообразующих пород, вод, растений и донных отложений и рассчитаны основные геохимические параметры, которыми оперирует современная геохимия ландшафта /1/. Для характеристики состояния экосистем использованы данные по фито- и мортмассам (по методике, разработанной Н.Л.Беруцашвили, 1983), а также интенсивность биологического поглощения химических элементов растениями разных систематических групп. Анализ полученных результатов позволил сделать ряд выводов для оценки степени представительности фоновых ландшафтов. При их выделении учтены три основных положения: 1) зональная приуроченность; 2) специфика геохимических полей, обусловленная литологическим составом пород и металлогенией региона; 3) пространственное расположение относительно структурно-функциональных зон заповедника (ядро, охранный пояс) и рекреационно-хозяйственных зон территории.

Выбор эталонных ландшафтов необходимо проводить преимущественно в ядре заповедника. Исключения составляют геохимические сопряжения, включающие автономные ландшафты с искусственными солонцами, где нарушен почвенный и растительный покровы и соотношение макро- и микроэлементов в почвах (в верхнем горизонте повышены содержания стронция, бария, хрома). В пределах охранной зоны, к которой непосредственно примыкает зона интенсивного хозяйственного освоения, зафиксированы изменения естественной ландшафтной структуры территории и появление модификаций ландшафтов, которые уже несут эффект воздействия антропогенных факторов.

Репрезентативность фоновых ландшафтов различна. Их изучение требует заложения серии эталонов с учетом высотной зональности. К числу типичных относятся ландшафты широколиственных и хвойных лесов, а также горно-луговые ландшафты. Их параметры, характеризующие особенности функционирования экосистем, биологического круговорота и водной миграции (щелочно-кислотные условия), интенсивность гумусонакопления, биомасса, продуктивность и др.), репрезентативны для Западной высокогорной провинции Большого

Т а б л и ц а 1

Уровни содержания микроэлементов в ландшафтах в зависимости от геохимических полей

Геохимические индикаторы	Интенсивность накопления элементов						
	Кларки концентрации элементов						
	Cu	Zn	Pb	Mn	Ni	Co	Ag
Горно-лесные бурые почвы широколиственных лесов	<u>3,7*</u> 1,02	<u>3,5</u> 1,8	<u>5,6</u> 2,2	<u>1,8</u> 0,4	<u>1,0</u> 0,4	<u>1,2</u> 0,6	<u>2,0</u> 1,3
Довые отложения	<u>1,9</u> 1,2	<u>3,0</u> 2,0	<u>3,0</u> 2,0	<u>1,0</u> 0,3	<u>0,5</u> 0,6	<u>0,8</u> 0,6	<u>0,3</u> 0,5
Мортмассы (опад) широколиственных лесов	<u>6,4</u> 4,2	<u>15,8</u> 12,0	<u>8,9</u> 6,2	<u>8,1</u> 2,0	<u>0,7</u> 0,5	<u>1,2</u> 0,5	<u>2,7</u> 1,4
Льшайник ( <i>Usnea barbata</i> )	<u>2,6</u> 1,2	<u>14,7</u> 3,2	<u>18,0</u> 15,1	<u>3,8</u> 3,9	<u>0,4</u> 0,3	<u>0,5</u> 0,3	<u>4,6</u> 3,1
Бук восточный (листья)	<u>2,4</u> 1,8	<u>1,9</u> 1,6	<u>1,6</u> 0,8	<u>8,6</u> 8,0	<u>0,9</u> 0,6	<u>0,06</u> 0,01	<u>1,1</u> 0,4

\* Числитель - южный; знаменатель - северный макросклоны.

Кавказа. К числу уникальных относятся ландшафты вечнозеленых колхидских тисо-самшитовых лесов. Геохимические параметры этих ландшафтов являются эталонами для ограниченного числа ландшафтов понтийских предгорий Большого Кавказа.

Сравнение однотипных ландшафтов выявило их провинциальные особенности, обусловленные характером подстилающих пород. Это выражается в различиях геохимического фона, в частности, в уровнях концентрации микроэлементов, что с той или иной степенью контрастности прослеживается для разных компонентов ландшафтов во всех высотных зонах. В качестве примера приведено сопоставление интенсивности накопления микроэлементов в ландшафтах широколиственных лесов Северного и Южного макросклонов Большого Кавказа. Сравнение кларков концентрации (табл. 1) и геохимических спектров показало, что расширение парagenной ассоциации элементов и наиболее резкое повышение содержания меди, цинка, свинца, мар-

ганца, никеля, кобальта, серебра и ряда других элементов зафиксировано в ландшафтах Южного макросклона, формирующихся в пределах металлогенетических зон с медноколчеданным и колчеданно-полиметаллическим оруденением (Лаурское, Ачисинское, Бзерлийское и Пслухское поля минерализации), для которых характерно развитие вторичных ореолов и потоков рассеяния. Экосистемы этого региона развиваются в условиях специфических биогеохимических провинций, что оказывает влияние на особенности биологического поглощения и геохимическую специфику растительных ассоциаций. Это важный фактор, который должен быть учтен при выборе эталонных ландшафтов и при получении сопоставимых данных.

Вторая группа задач включает разбор природной миграционной структуры фоновых ландшафтов и выявление эталонных геохимических сопряжений. При их выборе большое значение имеет изучение геохимической контрастности автономных и подчиненных ландшафтов, учет латеральной и радиальной миграции элементов, выявление основных механизмов их захвата, фиксация зон аккумуляции и выщелачивания. Конкретные сопряжения различаются по степени совершенства внутриландшафтных и межландшафтных связей, что предопределяет их реакцию на антропогенное воздействие — характер и скорость распространения импульса этого воздействия по ландшафтно-геохимическому каскаду. Это позволяет оценить степень устойчивости ландшафтов и выбрать фоновые сопряжения, различающиеся своей естественной способностью к самоочищению.

Анализ миграционной структуры, который проведен для всех перечисленных выше ландшафтов Кавказского биосферного заповедника, можно проиллюстрировать на примере редких ландшафтов вечнозеленых колхидских лесов массива Ахун. При их систематике использована классификация А.И.Перельмана (1975). Основные геохимические сопряжения формируются в условиях монолитного субстрата (карстующиеся известняки). Автономные элементарные ландшафты Н-Са-класса занимают небольшие площади в привершинных частях водораздельных гряд и сочленяются с трансэлювиальными ландшафтами Са-класса (рис. 2). Супераквальные ландшафты пользуются ограниченным распространением и встречаются преимущественно на пойме р.Хосты. Усложнение ландшафтной структуры происходит за счет появления в составе сопряжений трансаккумулятивных ландшафтов Са-Fe-класса, приуроченных к небольшим конусам выноса временных водотоков, а также на участках с гетеролитным субстратом в зоне контакта меловых известняков и терригенных отложений олигоцена. Господство трансэлювиальных комплексов, карбонатность субстрата, преобладание вертикальных водных потоков по сравнению с латеральными и подавленность механической миграции, наличие реликтовых видов в составе фитоценозов — все это определяет геохимическое своеобразие ландшафтов вечнозеленых лесов Тисо-самшитовой рощи.

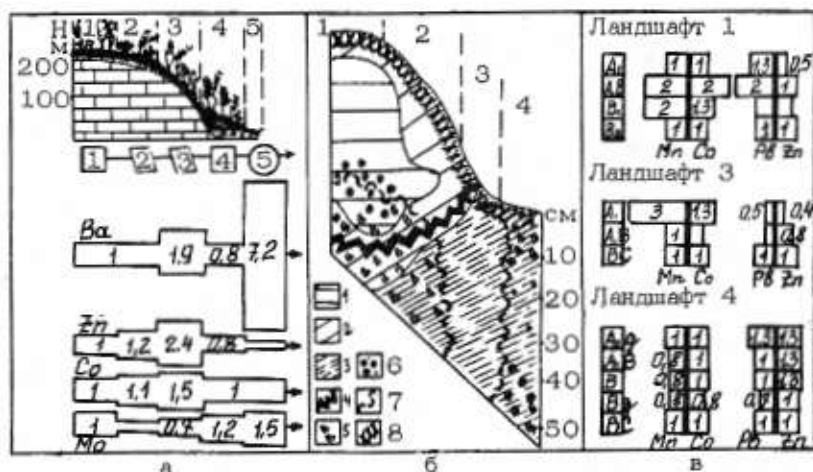


Рис. 2. Миграционная структура ландшафтов вечноселеных колхидских лесов: а) латеральная дифференциация в почвах и донных отложениях: 1 - автономные ландшафты Н-Са-класса; 2 и 3 - трансэлювиальные ландшафты Са-класса; 4 - трансаккумулятивные ландшафты Са-Fe-класса; 5 - трансаккумулятивные ландшафты; б) условия миграции и аккумуляции элементов в почвах: 1 - слабокислая; 2 - нейтральная; 3 - слабощелочная обстановка; 4 - щелочной барьер; 5 - восстановительная глеевая обстановка; 6 - орштейны; 7 - сезонный кислородный барьер; 8 - гумусовый (совмещенный с сорбционным) барьер; в) радиальная дифференциация в почвах

Миграция элементов осуществляется под влиянием разнородных процессов, определяющих особенности их перераспределения в вертикальном профиле ландшафтов. Одним из главных механизмов накопления является биогенная аккумуляция. Повышенная емкость биогеохимического барьера обусловлена высокой гумусностью почв. Так, содержание гумуса в почвах одамшитовых лесов достигает 19,95%, что согласуется с литературными данными [2].

Интенсивность водной миграции элементов определяется сочетанием щелочно-кислотных в окислительно-восстановительных условиях, которые различаются в разных звеньях ландшафтно-геохимического каскада, хотя их геохимическая контрастность не всегда достаточно высока. Выщелачивание происходит в нейтральной и слабощелочной среде, что ограничивает подвижность катионогенных элементов. Общая закономерность изменения щелочно-кислотных условий заключается в нарастании щелочности при переходе от автономных элементарных ландшафтов к подчиненным. В автономных ландшафтах Н-Са-класса для горно-лесных бурых почв, формирующихся под самшитовыми и широколиственно-самшитовыми лесами, зафиксировано две



зоны накопления карбонатов, одна из которых связана с гумусовым горизонтом, другая — приурочена к нижней части профиля и связана с формированием горизонта  $B_k$  и карбонатностью почвообразующих пород. Это хорошо увязывается с изменением pH. Его наименьшие значения (до 5,1–5,2) и появление слабо-кислой обстановки отмечено в средней части разреза в горизонте  $A_{1B}$  и  $B_1$ , которые выщелочены от карбонатов. Такая тенденция свидетельствует о развитии двойной щелочно-кислотной зональности и создает предпосылки к возникновению щелочного барьера, задерживающего широкий круг тяжелых металлов. Наиболее резкое повышение pH отмечено в трансэлювиальных ландшафтах Ca-класса, приуроченных к крутым склонам с близким залеганием известняков. Здесь под самшитовыми лесами формируются ренделины, которым свойственно интенсивное развитие карбонатного псевдомицелия, вскипание с поверхности и однонаправленное возрастание щелочности при приближении к коренным породам. Эти ландшафты в геохимических сопряжениях могут играть роль латеральных щелочных барьеров для катионогенных элементов, мигрирующих с потоком внутрпочвенных вод.

В связи с сезонным переувлажнением (зимой относительная влажность до 70–100%) наблюдается развитие оглеения и возникновение окислительно-восстановительной зональности. Оглеение отчетливо выражено как в почвах автономных ландшафтов, приуроченных к более высоким гипсометрическим уровням, так и в трансаккумулятивных ландшафтах пролювиальных конусов. На контакте обстановок возникает кислородный барьер, где идет формирование железомарганцевых новообразований (орштейны) и наблюдается задержка миграционного потока тяжелых металлов.

Таким образом, в ландшафтах вечнозеленых колхидских лесов Тисо-самшитовой рощи функционирует по крайней мере три механизма захвата химических элементов, способствующих их накоплению в почвах — биогенная аккумуляция и осаждение на щелочном и кислородном барьерах. Параллельно с ними большое значение, очевидно, имеют и сорбционные процессы в гумусовых и иллювиальных горизонтах почв, а также в местах распространения новообразований, где в качестве сорбентов могут выступать гидроксиды железа и марганца. Все перечисленные факторы снижают способность рассматриваемых ландшафтов к самоочищению. Расчет коэффициентов радикальной и латеральной дифференциации показал качественную неоднородность зоны аккумуляции в ландшафтах, которая зависит от индивидуального характера распределения элементов и мест их локализации в геохимических сопряжениях (см. рис. 2). Это имеет значение при организации фоновых мониторинга, когда необходим учет степени подчиненности элементарных ландшафтов, выбранных для производства непосредственных наблюдений за состоянием природной среды.

Третья задача — поиск информативных геохимических параметров. Она включает составление банка данных по фоновым



Название растения	Название эталона	Интенсивность биологического поглощения микроэлементов (Ах)														Биогеохимическая активность вида, БХА						
		свинец	марганец	цинк	серебро	иттербий	мель	молибден	стронций	олово	барий	ванадий	титан	итрий	никель		кобальт	хром	галлий	цирконий	скандий	
Лишайник-бородач	Бурьянистая поляна	■	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	34,47	
	Лаура, Бьерпия	■	■	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	56,17
Бук восточный (листья)	Бурьянистая поляна	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	18,55
	Лаура, Бьерпия	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	20,02
	Тисо-самшитовая роща	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	16,34

Ах ■ 1,0п    ▨ п    ▨ 0,п    ▨ 0,0п    □ не обнаружено

Рис. 3. Ряды биологического поглощения различных фитовидкаторов

характеристикам ландшафтов и разработку универсального набора показателей (простых и интегральных), фиксирующих ответную реакцию природных систем на антропогенное воздействие. Это предполагает анализ связей между отдельными компонентами элементарных ландшафтов, входящих в эталонные сопряжения, и выявление корреляционных зависимостей между конкретными геохимическими параметрами, а также учет их мобильности. Особое значение имеет изучение чувствительности биоиндикаторов, которое дает критерии для проведения экологической оценки состояния природных и техногенно-измененных ландшафтов.

К числу важных биопараметров относится биогеохимическая активность фитоиндикаторов. Различные виды растений Кавказского биосферного заповедника имеют свой "геохимический портрет" и отличаются по интенсивности биологического поглощения химических элементов, что необходимо иметь в виду при выборе фоновых эталонов. Например, можно отметить увеличение биогеохимической активности лишайников по сравнению с широколиственными породами деревьев, что четко проявляется при сопоставлении рядов биологического поглощения микроэлементов и лежит в основе различий геохимического фона, зафиксированного по конкретным биоиндикаторам (рис. 3).

При решении подобных вопросов большую роль играет изучение форм нахождения элементов и их доступности растениям. Это важная и часто специфичная геохимическая характеристика эталонных ландшафтов. Определение подвижных форм макро- и микроэлементов в почвах и растениях проведено в лаборатории аналитических методов в физической географии географического факультета МГУ (аналитик Т.П.Безрукова). Разбор полученных данных показал, что количество мобильных форм элементов в растениях различных элементарных ландшафтов неодинаково и обнаруживает связь с их содержанием в почвах (табл. 2). Так, отмечается согласованное увеличение содержания подвижного железа в почвах и листьях самшита в автономных и трансаккумулятивных ландшафтах, для которых характерно развитие сезонного оглеения. Установлено параллельное снижение содержания подвижного магния в почвах и растениях при переходе от автономных к подчиненным ландшафтам. В то же время надо отметить, что такие зависимости могут иметь и более сложный характер. Это определяется множественным характером связей в системе "коренная порода - почва - растение" по отношению к разным химическим элементам. Например, при близком залегании известняков содержание подвижных форм кальция в листьях такого кальцефила, как самшит остается на высоком уровне в автономных и трансэлювиальных ландшафтах с разной степенью обеспеченности почв этим элементом, но снижается в элементарных ландшафтах пролювиальных конусов. Очевидно, постановка специальных исследований по изучению биогеохимических отношений в ландшафтах имеет принципиально важное значение для целей биоэкологического мониторинга.

Т а б л и ц а 2

Сравнение содержаний подвижных форм макроэлементов в почвах и растениях ландшафтов вечнозеленых колхидских лесов

Название элементарного ландшафта	Коэффициент латеральной дифференциации подвижных форм в почвах			Средние содержания в почвах (вес. %)			Содержание в золе листьев самшита (вес. %)		
	Ca	Mg	Fe	Ca	Mg	Fe	Ca	Mg	Fe
Автономные ландшафты Н-Са-класса (ландшафт 1)	1	1	1	0,75	0,56	1,56	38,59	7,61	0,58
Трансэлювиальные ландшафты Са-класса (ландшафт 2)	1,5	0,9	0,8	1,13	0,52	1,17	36,27	7,49	0,38
Трансаккумулятивные ландшафты Са-Fe -класса (ландшафт 4)	1,4	0,4	1,1	1,03	0,24	1,74	29,68	5,75	1,90

В целом, полный перечень репрезентативных эталонных параметров должен характеризовать все виды миграции химических элементов в фоновых ландшафтах (биогенную, водную, механическую, аэральную) и содержать оценку их индикационных свойств.

Геохимические характеристики, рассчитанные для эталонных ландшафтов Кавказского биосферного заповедника, были использованы при сравнении фоновых и техногенно-измененных ландшафтов прилегающих территорий. Наибольшие отклонения параметров от естественного состояния отмечены на участках проведения геолого-разведочных работ (в бассейнах рек Бзергии и Ачишсе) и в селитебных ландшафтах. Это подтверждает эффективность ландшафтно-геохимических методов, показывающих связь абиотических и биотических компонентов природных комплексов, их роль в перераспределении и трансформации вещественно-энергетических потоков и фиксирующих ответные реакции природных систем на антропогенное воздействие.

Кроме традиционных для геологии задач, связанных с геохимическими поисками полезных ископаемых и оценкой металлогении района, они позволяют проводить долговременный мониторинг не только на биоэкологическом, но и на геосистемном уровнях.

При его организации необходим научно обоснованный отбор репрезентативных участков для проведения детальных ландшафтно-геохимических исследований в различных структурно-функциональных зонах заповедника и на сопредельных территориях. Уровни содержания элементов в горных ландшафтах контролируются большим числом мобильных природных факторов (интенсивное проявление современных экзогенных процессов, усиление роли механической миграции и др.), что осложняет интерпретацию полученных данных. Подробный геохимический анализ миграционных процессов, в первую очередь на биосферных станциях, позволяющий перейти к применению балансовых методов, создает необходимые предпосылки для объяснения причин изменения фоновых показателей, выделения антропогенной составляющей и прогнозирования состояния природной среды. Использование биоиндикаторов и изучение их реакции на изменение геохимической обстановки позволяет в дальнейшем подойти к вопросам экологического нормирования, что является важным этапом при разработке стратегических мероприятий по оптимизации ландшафтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. - М.: Изд-во МГУ, 1987, - 187 с.
2. Бушин П.М. Почвы субтропической зоны Краснодарского края//Докл. Сочинского отдела Геогр. об-ва СССР. - Л.: ГО СССР, 1971, вып. 11, - С. 139-162.
3. Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа. - М.: Изд-во МГУ, 1958. Вып. 11, - 264 с.
4. Методика ландшафтно-геофизических исследований и картографирования состояний природно-территориальных комплексов. - Тбилиси: - Изд-во Тбил. ун-та, 1983. - 199 с.
5. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. - М.: Высш. шк., 1975. - 341 с.