УДК 519.24

Регион: экономика и социология, 2016, № 3 (91), с. 195–218

И.П. Глазырина, С.М. Лавлинский

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ СЕКТОРЕ РОССИИ

В статье анализируются уровень развития института государственно-частного партнерства (ГЧП) в минерально-сырьевом комплексе России и механизмы партнерства, в рамках которого государство на малоосвоенной территории за счет средств Инвестиционного фонда РФ оказывает помощь инвестору не только в создании инфраструктуры, но и в реализации части необходимых природоохранных мероприятий. Для анализа свойств такого механизма партнерства авторы строят экономико-математический инструментарий, позволяющий эффективно разделить затраты между государством и частным инвестором в ходе освоения минерально-сырьевой базы. Инструментарий представляет собой комбинацию задачи целочисленного математического программирования и набора прогнозных моделей, описывающих процессы функционирования ресурсной территории. Методика его использования демонстрируется на примере Забайкалья, для которого строится программа освоения группы месторождений полиметаллов с использованием механизма ГЧП и проводится анализ чувствительности решения к изменению основных параметров партнерства. Результаты численных экспериментов подтверждают рациональность применения такого механизма в условиях малоосвоенной территории. Они показывают, что помимо выверенного подхода к определению конкретного размера помощи в реализации инфраструктурных и экологических проектов важную роль играет учет трансакционных издержек, уровень и структура которых влияют на показатели эффективности не только частного инвестора, но и государства.

Ключевые слова: механизм партнерства, задача целочисленного математического программирования, программа освоения минерально-сырьевой базы, Забайкальский край

Одной из основных проблем в освоении природных ресурсов на большинстве малоосвоенных территорий Востока России является разработка механизма согласования долгосрочных интересов государства и частного инвестора. Такой механизм должен обеспечить инвестиционную привлекательность реализуемого проекта, бюджетные поступления и соблюдение экологических ограничений в процессе социально-экономического развития территории.

Механизм государственно-частного партнерства (ГЧП) в мире широко используется и является эффективным инструментом достижения компромисса интересов в различных сферах экономики. Мировой опыт демонстрирует успешность применения механизма ГЧП прежде всего для создания новой и поддержания существующей инфраструктуры общественного сектора. В минерально-сырьевом комплексе такое партнерство позволяет существенно расширить источники финансирования проектов, заинтересовать недропользователей в освоении новых месторождений в труднодоступных районах.

В России положение дел с развитием ГЧП в минерально-сырьевом комплексе следует признать неудовлетворительным. Так, характерной здесь является ситуация, когда инвестор не может реализовать инвестиционный проект, поскольку для этого нет необходимой инфраструктуры, а государство не хочет вкладывать деньги в инфраструктуру, пока нет уверенности в том, что она будет загружена. Практические примеры решения этой проблемы в российских условиях ограничиваются проектами создания производственной инфраструктуры с использованием средств Инвестиционного фонда РФ (см., например, работы [8; 14]). Это говорит о необходимости разработки механизма партнерства, обеспечивающего эффективность в долгосрочном плане не только частным инвесторам, но и государству, ставящему перед собой задачу стратегического управления минерально-сырьевым комплексом [7].

Какова должна быть модель ГЧП, заложенная в основу программы освоения природных ресурсов на малоосвоенной территории? Имеющийся практический опыт говорит о том, что использование механизмов партнерства автоматически не гарантирует положительного результата даже на среднесрочных временных горизонтах. А если речь идет о долгосрочном горизонте и устойчивом развитии, то, вообще говоря, нужен специальный экономико-математический инструментарий для формирования механизма партнерства и построения на его основе программы освоения, а также для анализа свойств ожидаемой траектории развития территории с точки зрения обеспечения компромисса экологических и экономических интересов.

В настоящей работе сделана попытка исследовать эти проблемы с помощью экономико-математического моделирования, использовав для анализа материалы по Забайкальскому краю.

КОНЦЕПЦИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

В проекте государственно-частного партнерства, реализуемом в условиях малоосвоенной сырьевой территории, помощь государства направлена в основном на устранение проблем в инфраструктуре (дороги, электроснабжение и т.д.), поскольку экономика проекта частного инвестора не всегда выдерживает дополнительные затраты, связанные с обустройством территории. При этом развитие государством инфраструктуры способствует привлечению в будущем инвестиций и может содействовать выполнению различных региональных программ. Однако выгоды для разных участников такого партнерства могут быть неравноценными: зачастую негативные экологические последствия от внедрения в природно-ресурсный сектор перекрывают ожидаемые социально-экономические выгоды. Здесь необходим компромисс экономических и экологических интересов, стабилизирующий такое партнерство и выступающий как принципиальное условие для разработки совместных планов.

Экологическая реабилитация естественных экосистем представляет собой сложную процедуру ликвидации ущерба от реализации инвестиционных проектов. Как правило, это целый комплекс природоохранных мероприятий, компенсирующих негативные последствия процесса освоения месторождений. В реализации таких компенсирующих мероприятий в наибольшей степени заинтересованы государство и население. Их полный комплекс в ряде случаев может потребовать расходов, соразмерных со стоимостью самого инвестиционного проекта, и здесь не обойтись без помощи частному инвестору, выражающейся в том, что финансирование части природоохранных мероприятий берет на себя государство.

Отдельного внимания заслуживают трансакционные издержки (ТИ), связанные с реализацией проекта. Важная роль ТИ и качества соответствующих институтов в управлении природными ресурсами отмечается в работах нобелевских лауреатов Э. Остром [17; 18] и О. Уильямсона [19], а также в [13; 15; 16]. Применительно к сфере природопользования авторы указанных работ расширяют понимание трансакционных издержек по сравнению с традиционным представлением о том, что это затраты, возникающие в связи с заключением контрактов, а также издержки, сопровождающие взаимоотношения экономических агентов. В расширенном понимании трансакционные издержки в управлении природными ресурсами – это «совокупные затраты на определение и установление соответствующих институтов (формальных и неформальных), на создание необходимых организаций, на поддержание, функционирование и совершенствование этих институтов и организаций, а также на выявление проблем, которые эти институты и организации призваны решать» [15, p. 187].

В случае реализации крупных минерально-сырьевых проектов в отдаленных районах страны трансакционные издержки могут быть очень значительными. Со стороны государства в них включены, в частности, затраты на контроль и мониторинг (в том числе технический и экологический), а также на совершенствование обеспечивающих публичных институтов. Со стороны инвестора это затраты на разработку оценки воздействия на окружающую среду, затраты на содер-

жание служб, отвечающих за взаимодействие с соответствующими контролирующими органами, и т.д.

С учетом этих обстоятельств основные положения концептуальной модели ГЧП могут быть сформулированы следующим образом.

1. В условиях малоосвоенной территории проблема устойчивого развития приобретает специфические черты, требующие дополнительных инструментов воздействия на инвестора. На первый план выходит механизм государственно-частного партнерства, позволяющий снизить риски и распределить ответственность между участниками процесса недропользования – государством и бизнесом.

2. Главенствующую роль в партнерстве должно играть государство – именно оно должно сделать первые шаги, создающие достаточные стимулы для прихода недропользователей на территорию.

3. В самом общем случае государство в рамках ГЧП может оказать помощь потенциальному инвестору и в создании производственной инфраструктуры, и в реализации части необходимых природоохранных мероприятий.

Практические примеры подобного взаимодействия на основе ГЧП при проведении компенсирующих мероприятий по ликвидации экологического ущерба можно видеть в реализации федерального инвестиционного проекта «Комплексное развитие Нижнего Приангарья». Государственная поддержка этого проекта за счет средств Инвестиционного фонда предполагала софинансирование на договорных условиях инвестиционного проекта в части строительства объектов инфраструктуры на общую сумму 34 млрд руб. Однако по факту государство взяло на себя и большую часть затрат, возникающих в ходе строительства и функционирования ключевого объекта – Богучанской ГЭС, которые были связаны с проведением мероприятий, компенсирующих негативные экологические последствия строительства водохранилища, но не входили в систему мероприятий, профинансированных инвестором в рамках технического проекта строительства гидростанции. Перечень таких компенсирующих мероприятий экологического толка весьма внушителен и «тянет» по затратам на сумму около 18 млрд руб.

Анализ поданного в Инвестиционный фонд технико-экономического обоснования проекта ГЧП в Нижнем Приангарье позволяет говорить о недостаточной подготовленности проектных материалов, в которых основное внимание уделено проектам, реализуемым частными инвесторами. Для них сделаны автономные экономические оценки, но отсутствует комплексная оценка государства общей совокупности проектов, построенная с учетом того, что в реализацию инфраструктурных проектов будут вложены средства Инвестиционного фонда. В работе [4] показана неэффективность для государства использованной стратегии раздела экологических затрат и построен механизм раздела, обеспечивающий достижение компромисса интересов в рамках проекта ГЧП.

Другой пример – освоение Удоканского месторождения меди в зоне БАМа. В случае реализации этого проекта потребуется проведение как мероприятий, направленных на предотвращение необратимых изменений уязвимых северных экосистем, так и компенсирующих мероприятий. Одно из них – создание Кодарского национального парка площадью около 1 млн га, что также потребует значительных затрат.

Приведенные примеры говорят о том, что взяв на себя инфраструктурные и природоохранные проекты, государство при принятии решения должно руководствоваться не только политическими аргументами. Социально-экономические и экологические последствия такого управления первоначально отходят на второй план, но именно они приводят со временем к деградации партнерских отношений и потере эффективности проекта ГЧП для общества.

В этих условиях задача разработки эффективной модели партнерства в самом общем случае сводится к задаче поиска пропорций использования обоих рычагов государственной помощи инвестору: прямых государственных инвестиций в развитие инфраструктуры и финансирования части компенсирующих природоохранных мероприятий. Конкретная комбинация названных инструментов воздействия государства на экономику проекта и фиксированная схема проектного финансирования во многом определяют и уровень рентабельности для инвестора, и долю природно-ресурсной ренты, которую получает государство в виде налоговых платежей.

В общем случае в ресурсном регионе государство имеет дело с набором месторождений и группой потенциальных инвесторов, за каждым из которых стоят конкретные технологические проекты освоения, реализуемые при определенной совокупности условий. В такой ситуации механизм ГЧП является базовым элементом программы освоения минерально-сырьевых ресурсов территории, и в рамках этой программы государство берет на себя обязательство восполнить недостающую производственную инфраструктуру и помочь инвесторам в реализации природоохранных экологических проектов.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Каким образом может быть сформулирована задача поиска компромисса интересов государства, населения и инвестора в нормативной постановке? Один из возможных подходов к решению этой проблемы основан на решении задачи целочисленного математического программирования, на вход которой подаются следующие данные:

- перечень инвестиционных проектов, реализуемых частным инвестором, конкретную конфигурацию которых инвестор выбирает в зависимости от того, что предлагает государство в области инфраструктурного строительства;
- перечень инфраструктурных проектов, реализуемых государством, конкретную совокупность которых государство выбирает исходя из своих оценок эффективности с точки зрения перспектив долгосрочного развития территории;
- перечень экологических проектов, необходимых для компенсации экологических потерь, вызванных реализацией инвестиционных проектов. Конкретный раздел обязательств по реализации экологических проектов между частным инвестором и государством на входе не определен и должен быть получен на выходе модели планирования.

Выход модели – программа развития территории и механизм ГЧП, определяющий раздел затрат в процессе реализации инфраструктур-

ных и экологических проектов между государством и инвестором. Формальное описание задачи планирования может быть представлено следующим образом.

Обозначим через NP, NI и NE число производственных, инфраструктурных и экологических проектов; T – горизонт планирования, $i = 1, \ldots, NP$, $j = 1, \ldots, NI$, $k = 1, \ldots, NE$, $t = 1, \ldots, T$.

Производственный проект i: CFP_i^t – поток наличности; EPP_i^t – стоимостная оценка экологических потерь; DBP_i^t – доходы бюджета от реализации проекта; ZPP_i^t – зарплата, выплачиваемая в ходе реализации проекта.

Инфраструктурный проект j: ZI_j^t – график затрат; EPI_j^t – стоимостная оценка экологических потерь; VDI_j^t – внепроектные доходы бюджета от реализации проекта, связанные с общим развитием экономики территории; ZPI_j^t – зарплата, выплачиваемая в ходе реализации проекта.

Экологический проект k: ZE_k^t – график затрат; ZPE_k^t – зарплата, выплачиваемая в ходе реализации проекта.

Взаимосвязь проектов: μ_{ij} – индикатор технологической связности производственных и инфраструктурных проектов, равный 1, если для реализации производственного проекта i необходима реализация инфраструктурного проекта j, и равный 0 в противоположном случае; ν_{ik} – индикатор связности производственных и экологических проектов, равный 1, если реализация производственного проекта i влечет необходимость реализации экологического проекта k, и равный 0 в противоположном случае.

Дисконты и бюджетные ограничения: DG – дисконт государства; DI – дисконт инвестора; $BudG^t$, $BudI^t$ – бюджетные ограничения государства и инвестора.

Введем следующие целочисленные переменные: $z_i = 1$, если инвестор запускает производственный проект i, $z_i = 0$ в противном случае; $x_j = 1$, если государство запускает инфраструктурный проект j, $x_j = 0$ в противном случае; $y_k = 1$, если государство запускает эколо-

гический проект k, $y_k = 0$ в противном случае; $u_k = 1$, если инвестор реализует экологический проект k, $u_k = 0$ в противном случае.

Тогда модель формирования механизма ГЧП формулируется следующим образом.

Максимизировать дисконтированный поток наличности государства:

$$\sum_{t=1}^{t}\left(\sum_{i=1}^{NP}(DBP_i^t + ZPP_i^t - EPP_i^t)z_i + \sum_{j=1}^{NI}(VDI_j^t + ZPI_j^t - EPI_j^t - ZI_j^t)x_j + \right.$$
$$\left. + \sum_{k=1}^{NE}(ZPE_k^t - ZE_k^t)y_k + \sum_{k=1}^{NE} ZPE_k^t u_k\right) / (1+DG)^t \to \max \qquad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{NI} ZI_j^t x_j + \sum_{k=1}^{NE} ZE_k^t y_k \le BudG^t,\ t = 1, \ldots, T; \qquad (2)$$

$$x_j \ge \mu_{ij} z_i,\ i = 1, \ldots, NP,\ j = 1, \ldots, NI; \qquad (3)$$

$$y_k + u_k \ge z_i \nu_{ik},\ i = 1, \ldots, NP,\ k = 1, \ldots, NE; \qquad (4)$$

$$y_k + u_k \le 1,\ k = 1, \ldots, NE; \qquad (5)$$

$$\nu_{ik}(y_k + u_k) \le z_i,\ i = 1, \ldots, NP,\ k = 1, \ldots, NE; \qquad (6)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{NP} CFP_i^t z_i - \sum_{k=1}^{NE} ZE_k^t u_k\right) / (1+DI)^t \ge 0; \qquad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{NE} ZE_k^t u_k - \sum_{i=1}^{NP} CFP_i^t z_i \le BudI^t,\ t = 1, \ldots, T; \qquad (8)$$

$$\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{NP}(ZPP_i^t - EPP_i^t)z_i + \sum_{j=1}^{NI}(ZPI_j^t - EPI_j^t)x_j + \right.$$
$$\left. + \sum_{k=1}^{NE} ZPE_k^t (y_k + u_k)\right) / (1+DG)^t \ge 0; \qquad (9)$$

$$x_j,\ y_k,\ z_i,\ u_k \quad \{0;1\},\ i = 1, \ldots, NP,\ j = 1, \ldots, NI,\ k = 1, \ldots, NE. \qquad (10)$$

В сформулированной модели государство максимизирует аналог чистого дисконтированного дохода от реализации всей программы освоения, при этом целевая функция строится с учетом интересов населения и учитывает экономический выигрыш от появления новых рабочих мест и сопутствующие этому экологические потери. Бюджеты государства и инвестора накладывают ограничения вида (2) и (8) на возможный к выполнению набор проектов. Ограничения (3)–(4) фиксируют взаимосвязь производственных, инфраструктурных и экологических проектов. Каждый экологический проект может быть запущен только одним из партнеров (ограничение (5)) и должен быть необходим для реализации какого-либо производственного (ограничение (6)). Требование положительности чистого приведенного дохода инвестора (ограничение (7)) соответствует достаточному уровню его рентабельности. Интересы населения отражены не только в целевой функции, но и в ограничении (9), фиксирующем целесообразность программы освоения территории с точки зрения баланса получаемых благ и потерь для жителей. Трансакционные издержки, не выписанные явно в постановке, влияют и на формирование потока наличности инвестора CFP_i^t, и на динамику бюджетных потоков DBP_i^t.

На выходе модели – конструкция эколого-экономической модели ГЧП $\{x_y, y_k, z_i, u_k\}$, определяющей механизм раздела затрат и программу освоения минерально-сырьевой базы региона.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА МОДЕЛИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Для того чтобы сформулированную модель можно было использовать на практике, необходимо решить проблему формирования соответствующей информационной базы. Опыт показывает, что большая часть необходимых данных может быть получена из ТЭО производственно-инфраструктурных проектов ГЧП, информация по которым разрозненна, но достижима. Однако в постановке (1)–(10) используются данные, которые обычно не учитываются в хозяйственной практике. Такие данные могут быть получены из моделей прогно-

зирования, подробно описывающих некоторые аспекты регионального воспроизводственного процесса [4].

К этой категории данных относятся стоимостные оценки экологического ущерба EPP_i^t и EPI_j^t, потока наличности производственного проекта CFP_i^t, проектных и внепроектных доходов бюджета DBP_i^t и VDI_j^t. Экспертные оценки этих параметров могут быть использованы только в первом приближении, поскольку большая часть из них сложным образом зависит от внешних факторов и реализуемого механизма ГЧП.

Так, стоимостные оценки экологического ущерба от реализации производственных и инфраструктурных проектов могут быть построены на основе анализа технологии реализации проектов и комплекса необходимых мероприятий, компенсирующих негативное воздействие на природную среду. Оценка стоимости компенсирующих мероприятий и экономического ущерба от экологических нарушений – это предмет отдельного исследования. Общие принципы и подходы изложены, например, в работах [9; 11]. Комплексный подход к этим проблемам требует также учета социальных аспектов, измеряемых, в частности, с помощью индекса социального благополучия регионов [6].

Денежный поток (Cash Flow) в проектах освоения месторождений CFP_i^t и соответствующие доходы бюджета DBP_i^t сложным образом зависят от уровня трансакционных издержек, механизма раздела затрат, момента старта проектов и динамики рыночных цен. Для генерации этих параметров используется модель пучка инвестиционных проектов [14], в которой строятся прогнозы конъюнктуры рынков и описываются процессы строительства производственной инфраструктуры и освоения группы месторождений в рамках фиксированного механизма ГЧП и с учетом предположений о динамике и масштабе трансакционных издержек.

Внепроектные доходы государства VDI_j^t определяются в основном результатами инфраструктурного строительства и общим ходом развития региональной экономики. Для получения данных такого рода используются модель регионального прогнозирования [5] и экс-

пертные оценки мультипликатора, построенные на основе анализа пространственно-отраслевых характеристик имеющегося промышленного комплекса. На основе такой информации для каждого из инфраструктурных проектов строится оценка дополнительных бюджетных доходов VDI_j^t от вновь создаваемой производственной инфраструктуры, отличных от доходов бюджета от реализации проектов освоения месторождений DBP_i^t.

Таким образом, предлагаемый экономико-математический инструментарий, позволяющий разработать эффективную модель ГЧП в минерально-сырьевом комплексе, представляет собой комбинацию задачи целочисленного математического программирования и набора прогнозных моделей, описывающих процессы функционирования ресурсной территории.

АНАЛИЗ СВОЙСТВ ЭФФЕКТИВНОЙ МОДЕЛИ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

Каким образом оптимальное решение задачи зависит от основных параметров, использованных в постановке? Этот вопрос принципиально важен прежде всего потому, что для значительной части параметров модели известны лишь рабочие диапазоны значений. Так, в процессе формирования программы освоения минерально-сырьевой базы эксперт располагает лишь данными ТЭО проектов, а дисконты участников партнерства, бюджетные ограничения и экологические потери могут быть оценены им лишь приближенно.

Для анализа чувствительности оптимального механизма ГЧП к изменению основных параметров модели был построен модельный полигон, прообразом которого послужила минерально-сырьевая база Забайкальского края. Здесь были выделены 10 месторождений полиметаллических руд, для каждого из которых известны оценки запасов и ресурсов по категориям. Весь набор месторождений был разбит на три кластера с учетом рельефа местности, природных водоразделов и особенностей имеющейся инфраструктуры. Для всей системы кластеров было сформировано пять инфраструктурных проектов, часть из

которых уже реализуются, а другие восполняют пока отсутствующую, но необходимую с учетом проектов освоения месторождений инфраструктуру для рассматриваемых кластеров. Для каждого из месторождений набор компенсирующих природоохранных мероприятий интегрировался в соответствующий комплексный экологический проект.

Обозначим через *ECL* и *ELL* уровни экологических затрат и экологических потерь в программе освоения $\{x_j, y_k, z_i, u_k\}$. Параметр *ECL* определяется соотношением суммарных затрат на реализацию экологических и производственных проектов. Параметр *ELL* характеризует соотношение экологических потерь и положительных эффектов от реализации программы:

$$ELL = \left[\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{NP} EPP_i^t z_i + \sum_{j=1}^{NI} EPI_j^t x_j\right)/(1+DG)^t\right] / \left[\sum_{t=1}^{T}\left(\sum_{i=1}^{NP}(DBP_i^t + ZPP_i^t)z_i + \sum_{j=1}^{NI}(VDI_j^t + ZPI_j^t)x_j + \sum_{k=1}^{NE} ZPE_k^t(y_k + u_k)\right)/(1+DG)^t\right]. \quad (11)$$

Результаты численных экспериментов показывают высокий уровень чувствительности решения задачи (1)–(10) к изменению таких основных параметров планирования, как дисконты участников партнерства, уровни экологических потерь и затрат, а также масштаб и структура трансакционных издержек.

Каким образом трансакционные издержки сказываются на эффективности программы освоения для инвестора и государства? Для определенности предположим, что инвестор несет ТИ с момента старта проекта освоения месторождения в течение фиксированного числа лет с убывающей интенсивностью. Суммарные издержки такого рода, отнесенные к общему объему необходимых капитальных вложений в проекте освоения, определяют уровень ТИ. Его влияние на показатели эф-

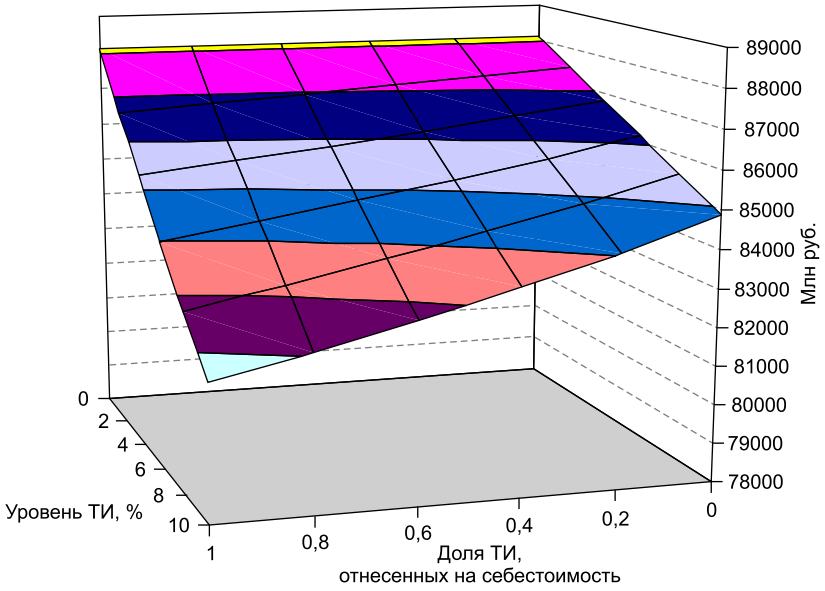

Рис. 1. Целевая функция государства и трансакционные издержки

фективности для государства иллюстрируется рисунками 1 и 2 для случая малых экологических потерь и затрат ($ELL < 0{,}05$, $ECL < 0{,}05$).

Результаты расчетов для фиксированных дисконтов государства и инвестора показывают, что важен не только уровень трансакционных издержек, но и то, какая их часть относится на себестоимость. Так, 10%-й уровень издержек приводит к двукратному падению *NPV* для инвестора и к уменьшению значения целевой функции государства на 4–10% в зависимости от структуры ТИ. Такого уровня трансакционные издержки встречаются в российской практике, особенно на малоосвоенной сырьевой территории с ее рисками всех видов.

Отсутствие инфраструктуры и неблагоприятные макроэкономические условия вынуждают инвестора увеличивать свой дисконт. Соответствующую зависимость показателей эффективности иллюстрирует рис. 2 (здесь предполагается, что доля ТИ, относимых на себестоимость, равна 25%). Государство строит инфраструктуру и помогает

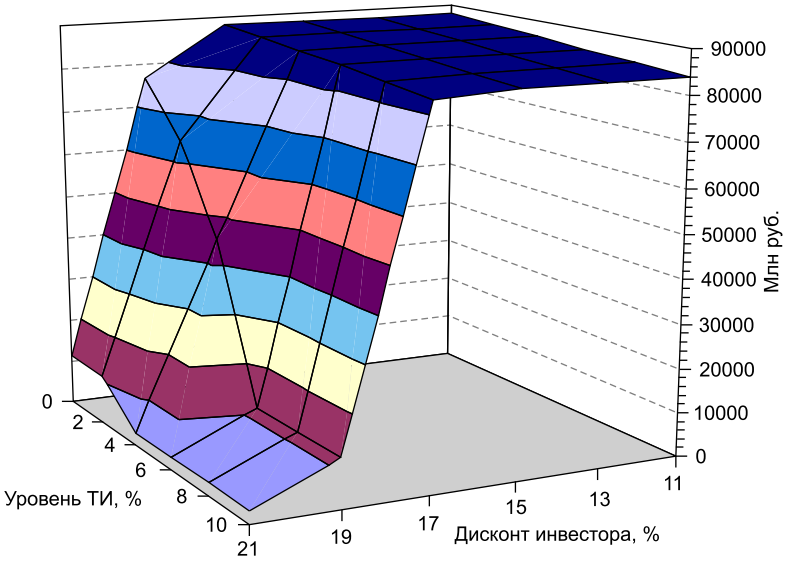

Рис. 2. Трансакционные издержки, дисконт инвестора и целевая функция государства

инвестору с дисконтом, не превышающим 17%, а при бóльших значениях сворачивает строительство и теряет в эффективности с темпом, растущим с увеличением уровня трансакционных издержек. Экспоненциальный характер падения *NPV* инвестора с ростом дисконта также существенно усиливается с увеличением уровня ТИ.

Для определенности в дальнейших численных экспериментах зафиксируем трансакционные издержки на уровне 2% и будем изучать чувствительность решения задачи (1)–(10) к изменению других параметров планирования.

Что происходит, когда экологические затраты остаются небольшими ($ECL < 0{,}05$), но начинают расти экологические потери? В нашем случае это означает, что природоохранные мероприятия, реализуемые в экологических проектах, не компенсируют негатив от запуска «грязных» производственных проектов освоения месторождений. В этом случае значение целевой функции государства падает практи-

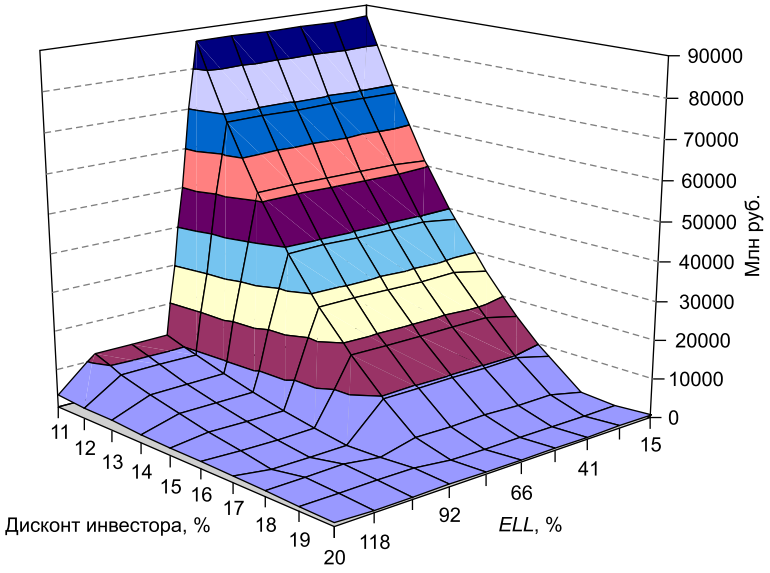

Рис. 3. Чистый дисконтированный доход инвестора, его дисконт и уровень экологических потерь (*ECL* < 0,05)

чески линейно с ростом уровня экологических потерь. Значение *NPV* инвестора при уровне экологических потерь менее 80% (рис. 3) зависит лишь от дисконта, при большем уровне экологических потерь государство сворачивает фронт инфраструктурного строительства, а инвестор кардинально сокращает число реализуемых производственных проектов. Заметим, что в этих условиях государство оказывает инвестору помощь в реализации экологических проектов лишь при дисконте в 19% и до уровня экологических потерь 80%.

А что происходит, когда экологические потери остаются небольшими (*ELL* < 0,05), но начинают расти экологические затраты? В этом случае экологические проекты обеспечивают достаточный уровень нейтрализации антропогенного воздействия, связанного с освоением минерально-сырьевой базы. Рост затрат на природоохранные мероприятия приводит к практически линейному падению *NPV* инвестора с небольшим дисконтом, а для больших дисконтов государство на-

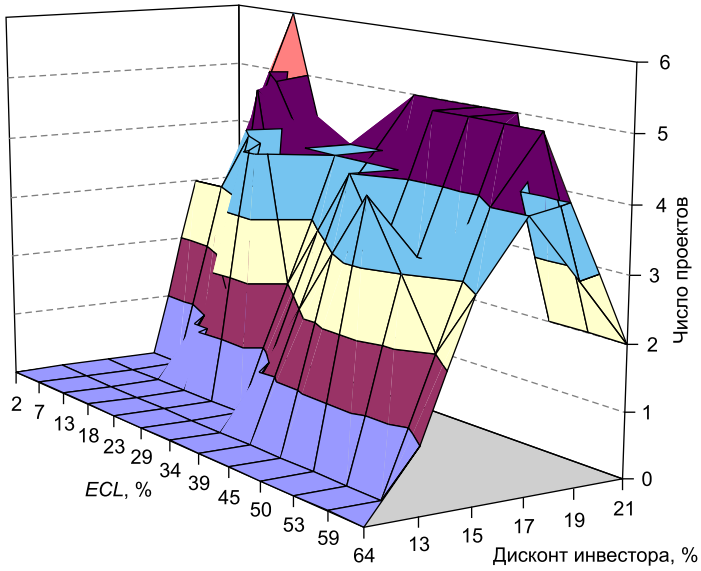

Рис. 4. Число экологических проектов, реализованных государством (*ELL* < 0,05)

чинает «помогать» в реализации экологических проектов (рис. 4), «вытягивая» инвестора за черту малого, но положительного *NPV*.

Каким образом меняются характеристики эффективности проекта ГЧП при одновременном росте уровней экологических потерь и затрат? Результаты вычислений говорят о том, что для государства наиболее важен уровень экологических потерь. До «критического» уровня (*ELL* < 80%) государство с линейной, практически не зависящей от уровня экологических затрат скоростью теряет значение целевого функционала (рис. 5), в то время как инвестор в этом диапазоне малочувствителен к потерям и в наибольшей степени заинтересован в сокращении экологических затрат. За пределами «критического» уровня государство сворачивает инфраструктурное строительство, в результате чего инвестор сокращает фронт производственных проектов до минимума, не требующего дополнительной инфраструктуры. Помощь в реализации экологических проектов государство оказывает

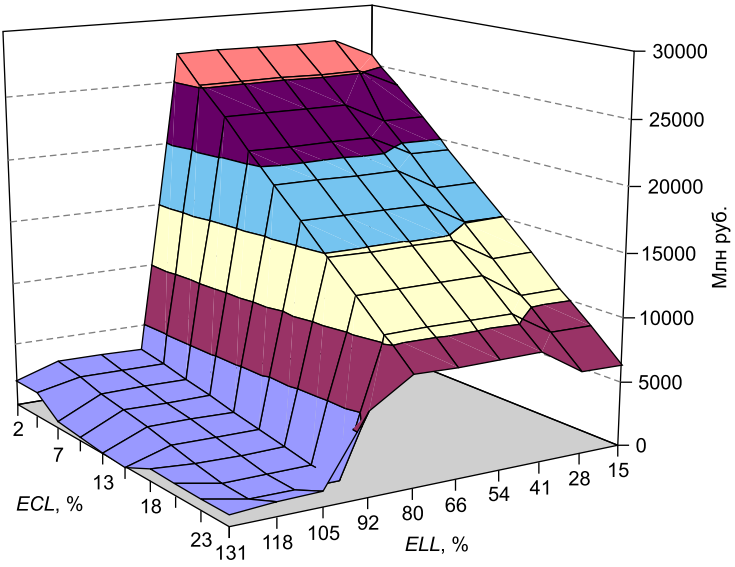

Рис. 5. Чистый дисконтированный доход инвестора и уровни экологических затрат и потерь

также за пределами «критического» уровня потерь, при высоких затратах на природоохранные мероприятия, не позволяющих инвестору остаться в зоне положительного *NPV*.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты численных экспериментов подтверждают правомерность исходных посылок концепции эколого-экономической модели ГЧП в минерально-сырьевом секторе, в рамках которой государству, действующему рационально на малоосвоенной территории, целесообразно использовать полный арсенал рычагов партнерства, включающий не только помощь инвестору в создании необходимой инфраструктуры, но и реализацию части необходимых природоохранных мероприятий. Мы видим, что в построенной эколого-экономической модели в некоторых случаях государство действительно берет на себя

помощь в выполнении фиксированного перечня экологических проектов. Такое поведение рационально, но требует выверенного подхода к определению конкретного размера помощи в реализации инфраструктурных и экологических проектов, отличного от стратегии раздела экологических затрат, примененной в Нижнем Приангарье.

Результаты моделирования говорят о том, что в рамках механизма ГЧП государство может эффективно работать с инвестором, дисконт которого укладывается в традиционный диапазон, характерный для минерально-сырьевого комплекса, не теряя значения своей целевой функции, в которой, вообще говоря, учтены и интересы населения территории. Адекватной здесь оказывается и реакция на негативные экологические характеристики используемых технологий освоения месторождений – сокращение объема инфраструктурного строительства и помощи в реализации экологических проектов, а как следствие, минимально возможный уровень рентабельности для инвестора.

Неожиданным является то, что при некоторых условиях рост трансакционных издержек в первую очередь сказывается на государстве: оно с большей, чем инвестор, скоростью начинает терять в показателях эффективности. Эти условия характерны прежде всего для большей части малоосвоенных сибирских и восточных регионов, природно-ресурсный сектор которых ориентирован на экспорт в ближайшее зарубежье. Именно в таких условиях при конструировании партнерства необходимо учитывать ТИ, их уровень и структуру.

Несмотря на то что экологические риски, связанные с процессом освоения минерально-сырьевой базы Забайкальского края, достаточно изучены (см., например, [1; 2; 10; 12]), на практике остается открытым вопрос об их комплексном учете в работе государственных институтов и в деятельности инвесторов, а также об учете соответствующих трансакционных издержек. Предложенная модель позволяет интегрировать эти аспекты в процессы прогнозирования результатов инвестиционных инициатив как для общества в целом, так и для частного бизнеса. Это позволит оценить и в перспективе преодолеть сложившуюся трансграничную асимметрию в распределении выгод и рисков, обусловленную чрезмерной ориентацией экономики сибирских регионов на внешние по отношению к ним рынки [3; 8].

Постановка эколого-экономической модели государственно-частного партнерства в условиях малоосвоенной территории содержательно близка к реальной процедуре разработки плана освоения минерально-сырьевой базы ресурсного региона на основе механизмов ГЧП. Приведенные результаты численного анализа свойств решений согласуются со здравым смыслом и реальной экономической практикой. Все это позволяет использовать описанную модель формирования механизма государственно-частного партнерства в качестве основы специального экономико-математического инструментария стратегического планирования, обеспечивающего поддержку процесса принятия управленческих решений, касающихся нахождения компромисса долгосрочных интересов государства, частного инвестора и населения значительной части ресурсных регионов России.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 16-18-00073)

Список источников

1. *Забелина И.А., Клевакина Е.А.* Эколого-экономические аспекты природопользования и проблемы приграничного сотрудничества в регионах Сибири // ЭКО. – 2011. – № 9. – С. 155–166.

2. *Корсун О.В., Михеев И.Е.* Социально-экономическое значение создания новых особо охраняемых природных территорий в российско-китайском приграничье // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2014. – № 12. – С. 129–137.

3. *Кулешов В.В., Суслов В.И., Селиверстов В.Е.* Стратегические условия долгосрочного развития Сибири // Регион: экономика и социология. – 2009. – № 2. – С. 3–22.

4. *Лавлинский С.М.* Государственно-частное партнерство на сырьевой территории: экологические проблемы, модели и перспективы // Проблемы прогнозирования. – 2010. – № 1. – С. 99–110.

5. *Лавлинский С.М.* Модели индикативного планирования социально-экономического развития ресурсного региона. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.

6. *Малкина М.Ю.* Динамика и факторы внутрирегиональной и межрегиональной дифференциации доходов населения РФ // Пространственная экономика. – 2014. – № 3. – С. 44–66.

7. *Минерально-сырьевой* сектор Азиатской России: как обеспечить социально-экономическую отдачу / Под ред. В.В. Кулешова – Новосибирск: Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2015. – 352 с.

8. *Природный* капитал региона и российско-китайские трансграничные отношения: перспективы и риски / Под ред. И.П. Глазыриной, Л.М. Фалейчик. – Чита: Изд-во Забайкальского государственного университета, 2014. – 527 с.

9. *Рюмина Е.В.* Экономический ущерб от экологических правонарушений. – М.: Наука, 2009. – 331 с.

10. *Современные* проблемы экологической безопасности трансграничных регионов / Под ред. О.В. Корсуна. – Новосибирск: Наука, 2013. – 319 с.

11. *Титова Г.Д.* Оценка экосистемных услуг: потенциал применения на практике // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 3 (118). – С. 179–191.

12. *Фалейчик Л.М., Кирилюк О.К., Помазкова Н.В.* ГИС-моделирование для геоэкологической оценки рисков нарушения устойчивости ландшафтов // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 12 (127). – С. 19–38.

13. *Challen R.* Institutions, Transaction Costs and Environmental Policy: Institutional Reform for Water Resource. – Aldershot, UK: Edward Elgar Publ., 2000. – 233 p.

14. *Glazyrina I.P., Kalgina I.S., Lavlinskii S.M.* Problems in the development of the mineral and raw-material base of Russia's Far East and prospects for the modernization of the region's economy in the framework of Russian–Chinese cooperation // Regional Research of Russia. – 2013. – Vol. 3, No. 4. – P. 405–413.

15. *Marshall G.R.* Transaction costs, collective action and adaptation in managing socio-economic system // Ecological Economics. – 2013. – Vol. 88. – P. 185–194.

16. *McCann L., Colby B., Easter K.W. et al.* Transaction cost measurement for evaluating environmental policies // Ecological Economics. – 2005. – Vol. 52, Is. 4. – P. 527–542.

17. *Ostrom E.* A behavioral approach to the rational choice theory of collective action: Presidential Address, American Political Science Association, 1997 // American Political Science Review. – 1998. – Vol. 92, No. 1. – P. 1–22.

18. *Ostrom E.* A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems // Science. – 2009. – Vol. 325, Is. 5939. – P. 419–422.

19. *Williamson O.E.* Transaction cost economics: how it works; where it is headed // De Economist. – 1998. – Vol. 146, No. 1. – P. 23–58.

Информация об авторах

Глазырина Ирина Петровна (Россия, Чита) – доктор экономических наук, заведующая лабораторией. Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (672014, Чита, ул. Недорезова, 16а, e-mail: iglazyrina@bk.ru).

Лавлинский Сергей Михайлович (Россия, Новосибирск) – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник. Институт математики СО РАН (630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 4, e-mail: lavlin@math.nsc.ru).

DOI: 10.15372/REG20160311

Region: Economics & Sociology, 2016, No. 3 (91), p. 195–218

I.P. Glazyrina, S.M. Lavlinskii

ECO-ECONOMIC MODELS IN THE MINERAL RESOURCE SECTOR OF RUSSIA

The paper considers the institution of public-private partnership (PPP) as well as its development level in the Russian mineral resource sector and investigates partnership arrangements as an effective government tool for assisting investors at the expense of the Investment Fund both in building the infrastructure and carrying out environmental measures in underdeveloped areas. In order to examine the properties of partnership, we designed special economic and mathematical tools that help effectively divide the costs required in mineral resource base development between the state and private investors. These tools are a combination of integer mathematical programming problem and a set of predictive models used to describe resource area operation processes. We demonstrate the technique in practice through the example of Transbaikal (Zabaykalskiy Kray), to which end we elaborate a development plan for a group of polymetallic deposits with the PPP mechanism and analyze the sensitivity of solutions to changes in its key parameters. The results of our numerical studies confirm that the mechanism is applicable to underdeveloped areas. They also suggest that, besides a well-thought-out approach to determining the scope of aid essential for infrastructure and environmental projects, it makes much sense to account for transaction costs since their level and structure affect the performance of both private investors and the state.

Keywords: partnership arrangements; integer mathematical programming problem; mineral resource base development plan; Zabaykalskiy Kray

The publication is prepared within the framework of the project No. 16-18-00073 supported by funding from the Russian Science Foundation

References

1. *Zabelina, I.A.* & *Ye.A. Klevakina.* (2011). Ekologo-ekonomicheskie aspekty prirodopolzovaniya i problemy prigranichnogo sotrudnichestva v regionakh Sibiri [Ecological and economic aspects of natural use and problems of international co-operation in Siberian regions]. EKO, 9, 155–166.

2. *Korsun, O.V.* & *I.Ye. Mikheyev.* (2014). Sotsialno-ekonomicheskoe znachenie sozdaniya novykh osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy v rossiysko-kitayskom prigranichye [Creation of new natural protected areas as a factor of ensuring the effectiveness of socioeconomic system in the Russian–Chinese border]. Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta [Transbaikal State University Journal], 12, 129–137.

3. *Kuleshov, V.V., V.I. Suslov* & *V.Ye. Seliverstov.* (2009). Strategicheskie usloviya dolgosronogo razvitiya Sibiri [Strategic aims of the long-term development in Siberia]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 2, 3–22.

4. *Lavlinskii, S.M.* (2010). Gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo na syryevoy territorii: ekologicheskie problemy, modeli i perspektivy [Public–private partnership in a natural resource region: ecological problems, models, and prospects]. Problemy prognozirovaniya [Studies on Russian Economic Development], 1, 99–110.

5. *Lavlinskii, S.M.* (2008). Modeli indikativnogo planirovaniya sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya resursnogo regiona [Socioeconomic Development of a Raw-Material Territory: Indicative Planning Models]. SB RAS Publ.

6. *Malkina, M.Yu.* (2014). Dinamika i faktory vnutriregionalnoy i mezhregionalnoy differentsiatsii dokhodov naseleniya RF [Dynamics and determinants of intra- and inter-regional income differentiation of the population of the Russian Federation]. Prostranstvennaya ekonomika [Spatial Economics], 3, 44–66.

7. *Kuleshov, V.V.* (Ed.). (2015). Mineralno-syryevoy sektor Aziatskoy Rossii: kak obespechit sotsialno-ekonomicheskuyu otdachu [Natural resource sector in the Asian part of Russia: how to ensure socioeconomic returns]. Novosibirsk, IEIE SB RAS Publ. 352.

8. *Glazyrina, I.P.* & *L.M. Faleychik* (Eds.). (2014). Prirodnyy kapital regiona i rossiysko-kitayskie transgranichnye otnosheniya: perspektivy i riski [Natural Capital of the Region and Russian-Chinese Cross-Border Relations: Opportunities and Risks]. Chita, Transbaikal State University Publ., 527.

9. *Ryumina, Ye.V.* (2009). Ekonomicheskiy ushcherb ot ekologicheskikh pravonarusheniy [Economic Analysis of Damage from Environmental Violations]. Moscow, Nauka Publ., 331.

10. *Korsun, O.V.* (Ed.). (2013). Sovremennye problemy ekologicheskoy bezopasnosti transgranichnykh regionov [Current Problems of Environmental Security in Cross-border Regions]. Novosibirsk, Nauka Publ., 319.

11. *Titova, G.D.* (2015). Otsenka ekosistemnykh uslug: potentsial primeneniya na praktike [Ecosystem services valuation: a potential application in practice]. Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta [Transbaikal State University Journal], 3 (118), 179–191.

12. *Faleychik, L.M., O.K. Kirilyuk* & *N.V. Pomazkova.* (2015). GIS-modelirovanie dlya geoekologicheskoy otsenki riskov narusheniya ustoychivosti landshaftov [GIS modeling for environmental risk assessment of landscapes stability violation]. Vestnik Zabaykalskogo gosudarstvennogo universiteta [Transbaikal State University Journal], 12 (127), 19–38.

13. *Challen, R.* (2000). Institutions, Transaction Costs and Environmental Policy: Institutional Reform for Water Resource. Aldershot, UK, Edward Elgar Publ., 233.

14. *Glazyrina, I.P., I.S. Kalgina* & *S.M. Lavlinskii.* (2013). Problems in the development of the mineral and raw-material base of Russia's Far East and prospects for the modernization of the region's economy in the framework of Russian–Chinese cooperation. Regional Research of Russia, Vol. 3, Is. 4, 405–413.

15. *Marshall, G.R.* (2013). Transaction costs, collective action and adaptation in managing socio-economic system. Ecological Economics, 88, 185–194.

16. *McCann, L., B. Colby, K.W. Easter et al.* (2005). Transaction cost measurement for evaluating environmental policies. Ecological Economics, Vol. 52, Is. 4, 527–542.

17. *Ostrom, E.* (1998). A behavioral approach to the rational choice theory of collective action: Presidential Address, American Political Science Association, 1997. American Political Science Review, Vol. 92, No. 1, 1–22.

18. *Ostrom, E.* (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. Science, Vol. 325, Is. 5939, 419–422.

19. *Williamson, O.E.* (1998). Transaction cost economics: how it works; where it is headed. De Economist, Vol. 146, No. 1, 23–58.

Information about the authors

Glazyrina, Irina Petrovna (Chita, Russia) – Doctor of Sciences (Economics), Head of Laboratory at the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (16a, Nedorezov st., Chita, 672014, Russia, e-mail: iglazyrina@bk.ru).

Lavlinskii, Sergey Mikhaylovich (Novosibirsk, Russia) – Doctor of Sciences (Engineering), Leading Researcher at the Institute of Mathematics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (4, Ac. Koptyug av., Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: lavlin@math.nsc.ru).

Рукопись статьи поступила в редколлегию 16.06.2016 г.